



# ANÁLISIS DE LA EXPOSICIÓN AL RIESGO

por

## LEVANTAMIENTO MANUAL DE CARGAS

en

## CONDICIONES DE ALTA VARIABILIDAD

Enrique Álvarez-Casado



TESIS DOCTORAL

**ANÁLISIS DE LA EXPOSICIÓN AL RIESGO  
POR LEVANTAMIENTO MANUAL DE  
CARGAS EN CONDICIONES DE  
ALTA VARIABILIDAD**

ENRIQUE ÁLVAREZ-CASADO

DIRIGIDA POR: Dr. ENRICO OCCHIPINTI

Dr. PEDRO MANUEL RODRÍGUEZ

Tesis presentada para obtener el título de Doctor por la Universitat Politècnica de Catalunya.

Programa de doctorado: Administració i Direcció d'Empreses.

Departament d'Organització d'Empreses

Universitat Politècnica de Catalunya

Barcelona, Julio de 2012



*A mis padres,  
que apostaron siempre por mi formación*

*A mis sobrinos,  
porque nieguen la ignorancia en su proyecto de vida*

*Y a Sonia,  
por ser mi proyecto de vida*



# Agradecimientos

---

Mis más sinceros e incondicionales agradecimientos a todas aquellas personas que han contribuido al desarrollo de esta investigación, tanto en el plano profesional como personal.

Al Departament d'Organització d'Empreses de la UPC, por la oportunidad durante todos estos años para desarrollarme como docente y como investigador; y en especial a Pedro, por darme la oportunidad de participar en proyectos y congresos durante estos años.

A todo el grupo de investigadores de la Unità di Ricerca EPM, Enrico Occhipinti, Daniela Colombini, Natale Battevi y Olga Menoni, por su entrañable amistad y por su generosidad para compartir conocimientos y experiencia, de los que sigo aprendiendo día a día; a Enrico, por guiar de forma inteligente la consecución de esta investigación; a Daniela, por sus continuas iniciativas en llevar a un plano práctico y aplicable la investigación; y a Natale y Olga, por todas las discusiones enriquecedoras que tenemos frecuentemente. Igualmente, a toda su red de colaboradores, amigos y familiares, entre los que destaco a Marco Cerbai y Marco Placci, por su amistad y sus aportaciones a este trabajo.

A Thomas Waters, por su amistad y por las ideas que ha aportado para desarrollar esta investigación.

A Emilio Castejón, por su exhaustiva revisión de esta publicación, contribuyendo con comentarios que han aumentado la calidad y han mejorado su entendimiento.

A todos mis contactos profesionales que han dedicado tiempo en transmitirme su punto de vista práctico del tema.

Y por último, mi más sincero agradecimiento a todo el equipo del Centro de Ergonomía Aplicada (CENEA), Sonia, Aquiles, Rosysabel y Carolina, por el gran apoyo, motivación y contribuciones que he recibido de todos ellos para realizar esta tesis; a Aquiles, por motivar que nos embarquemos en tantas iniciativas juntos a lo largo de los años, siendo ésta una más; a Carolina, por diseñar la porta-

da de esta publicación; a Rosysabel, por presionar con el cumplimiento del calendario; y a Sonia, que no sólo es la responsable que este documento se pueda leer, si no también por ser la generadora de todas las condiciones necesarias para acabarlo.



# Resumen

---

El levantamiento manual de cargas es un requerimiento de trabajo muy frecuente en Europa y su exposición puede originar importantes daños a la salud, comportando un gran coste socio-económico.

En esta investigación, mediante la valoración de expertos y delegados de prevención, se caracterizan las exposiciones a levantamientos manuales de cargas más presentes en las empresas y las prácticas comunes para su evaluación.

Se analiza la validez, las limitaciones y la aplicabilidad de los modelos matemáticos actuales para evaluar la exposición al riesgo que comporta ante condiciones de levantamiento de alta variabilidad.

Se propone un nuevo modelo matemático para analizar la exposición al riesgo, el índice de levantamiento variable (VLI), y se plantean y analizan diferentes estrategias de aplicación basadas en la reducción de la dimensión de los atributos que la caracterizan, definiendo los indicadores que permiten valorar las estrategias de aplicación del modelo más adecuadas.

**Palabras clave:** levantamiento manual de cargas, evaluación del riesgo, índice de levantamiento variable, exposición al riesgo variable, riesgos ergonómicos.



# Resum

---

L'aixecament manual de càrregues és un requeriment de treball molt freqüent a Europa, i la seva exposició pot generar importants danys a la salut amb un alt cost socio-econòmic.

En aquesta recerca, mitjançant la valoració d'experts i delegats de prevenció, es caracteritzen les exposicions a aixecaments manuals de càrregues més presents en les empreses i les pràctiques més comuns per a la seva avaluació.

S'analitza la validesa, les limitacions i la aplicabilitat dels models matemàtics actuals per avaluar l'exposició al risc en condicions d'alta variabilitat.

Es proposa un nou model matemàtic per analitzar l'exposició al risc, l'índex d'aixecament variable (VLI), i es plantegen i analitzen diferents estratègies d'aplicació basades en la reducció de la dimensió dels atributs que la caracteritzen, definint els indicadors que permeten valorar les estratègies d'aplicació del model més adients.

**Paraules clau:** aixecament manual de càrregues, avaluació del risc, índex d'aixecament variable, exposició al risc variable, riscos ergonòmics.



# Abstract

---

Manual lifting loads is a widely extended requirement at work in Europe. The exposure to this hazard is producing significant work-related musculoskeletal disorders and a high social and economic cost.

In this study, the most common characteristics of tasks involving manual lifting loads in companies and how they are currently analyzed are identified, based on perception and opinions of ergonomists and health and safety representatives.

The validity, applicability and limitations of current mathematical models for assessing this risk in highly variable conditions are analyzed.

A new mathematical model, called variable lifting index (VLI), is proposed. Different strategies for applying the model based on attribute reduction are analyzed. Finally, new indicators to evaluate the goodness of each strategy have been defined.

**Keywords:** manual lifting loads, risk assessment, variable lifting index, variable risk exposure, ergonomics risks.



# Estructura del documento

---

Este documento está estructurado en cuatro partes:

Primera parte: Introducción y fundamentos teóricos. En la primera parte de este documento se expone el tema de investigación y las bases teóricas que fundamentan el punto de partida de la investigación. El capítulo §1 presenta la introducción y motivación de esta investigación, se expone formalmente el problema de tesis, se plantean las hipótesis de investigación y los objetivos del trabajo que se derivan; por último, se describe la metodología de investigación utilizada. A continuación, en el capítulo §2, se expone el estado de la cuestión al respecto del análisis de la exposición al riesgo por levantamiento manual de cargas, el análisis de sus factores de riesgo, haciendo especial énfasis en la ecuación NIOSH revisada como método de referencia y los diferentes estudios de validación de sus criterios.

Segunda parte: Marco teórico y desarrollo del modelo. En la segunda parte de este documento, en el capítulo §3, se realiza exponen formalmente los modelos de análisis que se desarrollan en la ecuación NIOSH revisada, para posteriormente, realizar un análisis matemático de sus limitaciones. El capítulo §4 y §15, recogen las valoraciones realizadas por los expertos y por los delegados de prevención, respectivamente, sobre los requerimientos presentes en las empresas de levantamientos manuales de cargas y las prácticas más frecuentes en su evaluación; en estos capítulos se detallan los criterios de selección de la muestra de contactos realizados y los resultados de los análisis realizados. Finalmente, en el capítulo §6, se presenta formalmente el modelo de análisis propuesto de tareas de levantamientos manuales de cargas en condiciones altamente variables, así como las diferentes estrategias de aplicación.

Tercera parte: Aplicación del modelo. En esta tercera parte, capítulo §7, se analiza un caso real de actividad logística; el desarrollo del caso se utiliza para exponer los criterios e indicadores que permiten valorar y seleccionar las estrategias de aplicación del modelo más adecuadas.

Cuarta parte: Conclusiones. Por último, la parte cuarta presenta las conclusiones de este estudio en el capítulo §8, se proponen líneas de trabajo futuro como continuación de esta investigación en el capítulo §9, y se proporcionan los primeros indicadores de calidad de esta tesis y su impacto en el área de conocimiento en el capítulo §10.



# Índice

---

Listado de tablas .....	XXI
-------------------------	-----

Listado de figuras .....	XXVII
--------------------------	-------

## PARTE I: INTRODUCCIÓN Y FUNDAMENTOS TEÓRICOS

<b>Capítulo 1: Introducción y Motivación .....</b>	<b>3</b>
INTRODUCCIÓN .....	3
FORMULACIÓN DEL PROBLEMA DE TESIS .....	14
PLANTEAMIENTO DE LAS HIPÓTESIS .....	15
Hipótesis de investigación .....	15
Unidad de investigación, ámbito espacial y temporal .....	16
OBJETIVOS DE LA INVESTIGACIÓN .....	16
METODOLOGÍA DE LA INVESTIGACIÓN .....	18
Análisis del estado de la cuestión .....	18
Fuentes de información .....	18
Palabras clave de sondeo .....	19
Criterios de exclusión e inclusión .....	19
Análisis de referencias .....	20
Resumen cuantitativo .....	20
Revisión de publicaciones con datos estadísticos .....	21
Análisis de los levantamientos manuales y su evaluación en las empresas .....	21
Consulta con expertos y delegados de prevención .....	21
Análisis estadístico .....	22
Análisis de los modelos actuales y desarrollo del modelo propuesto .....	24
Análisis de los modelos actuales .....	24
Desarrollo del modelo propuesto .....	26
GLOSARIO .....	26

## Capítulo 2: Análisis de la exposición al levantamiento manual de cargas:

<b>Estado de la cuestión .....</b>	<b>29</b>
ESTRATEGIAS POLÍTICAS RELATIVAS AL LEVANTAMIENTO MANUAL DE CARGAS .....	29
Limitación del peso máximo permitido .....	29
Convenio de la Organización Internacional del Trabajo .....	30
La Directiva del Consejo Europeo .....	34
LA PRIMERA ECUACIÓN NIOSH .....	35
Descripción de la ecuación .....	35
Interpretación .....	38
Propuestas para el análisis de tareas variables .....	39
Levantamientos de pesos constantes ubicados en alturas variables .....	39
Levantamientos de pesos y distancias variables .....	40
LA ECUACIÓN NIOSH REVISADA .....	40
Desarrollo de la ecuación .....	40
Actualizaciones en los criterios .....	41
Criterio biomecánico .....	42
Criterio fisiológico .....	42
Criterio psicofísico .....	43
Actualizaciones en la ecuación .....	43
Propuesta para el análisis de tareas compuestas .....	45
VALIDACIÓN DE LA METODOLOGÍA Y NUEVAS PROPUESTAS .....	46
Validación de los criterios .....	46
El atributo peso de la carga .....	46
El atributo altura de agarre de la carga .....	47
El atributo distancia horizontal .....	48
El atributo asimetría .....	48
Medición de atributos y errores .....	49
Otros factores de riesgo y condiciones de trabajo .....	50
Validación de la aplicabilidad .....	53
Validación epidemiológica .....	53
Nuevas propuestas .....	56
Normas técnicas internacionales basadas en la Ecuación NIOSH Revisada .....	56
El índice de levantamiento secuencial .....	57
Variantes de la Ecuación NIOSH Revisada .....	58

## PARTE II MARCO TEÓRICO Y DESARROLLO DEL MODELO

### Capítulo 3: Descripción de los modelos actuales .....61

CÁLCULO DEL ÍNDICE DE LEVANTAMIENTO (LI) .....	61
CÁLCULO DEL ÍNDICE DE LEVANTAMIENTO COMPUESTO (CLI).....	66
ANÁLISIS MATEMÁTICO DE LAS LIMITACIONES.....	67
CONCLUSIONES.....	72

### Capítulo 4: Valoración de los levantamientos manuales de cargas y su evaluación del riesgo por los profesionales de la prevención .....73

OBJETIVOS .....	73
SELECCIÓN Y DESCRIPCIÓN DE LA MUESTRA.....	75
Criterios de selección de la muestra.....	75
Descripción de la muestra.....	76
RESULTADOS .....	79
Sectores de actividad donde se han realizado evaluaciones de riesgo por levantamiento manual de cargas .....	79
Requerimientos de los levantamientos manuales de cargas.....	80
Los tipos de carga más frecuentes .....	80
Calidad del agarre de las cargas .....	87
Características de las evaluaciones del riesgo.....	90
Método de evaluación utilizado .....	90
Dificultad de medir los parámetros de evaluación .....	94
Variabilidad de los parámetros.....	97
Estrategia de análisis utilizada ante la variabilidad.....	99
Técnica para determinar la frecuencia de levantamientos .....	102
DISCUSIÓN Y CONCLUSIONES .....	104

### Capítulo 5: Valoración de los levantamientos manuales de cargas y su evaluación del riesgo por los delegados de prevención .....109

OBJETIVOS .....	109
SELECCIÓN Y DESCRIPCIÓN DE LA MUESTRA.....	110
Criterios de selección de la muestra.....	110
Descripción de la muestra.....	113
RESULTADOS .....	116
Presencia del levantamiento manual de cargas en las empresas .....	116
Requerimientos de los levantamientos manuales de cargas.....	119

Variabilidad en la altura del levantamiento.....	119
Variabilidad en el peso de las cargas.....	122
Características de las evaluaciones del riesgo .....	124
Realización de evaluaciones de riesgo por levantamiento manual de cargas.....	124
Método de evaluación utilizado .....	126
DISCUSIÓN Y CONCLUSIONES .....	128
<b>Capítulo 6: Propuesta del modelo: El índice de levantamiento variable (VLI) .....</b>	<b>133</b>
DEFINICIÓN DEL MODELO VLI .....	133
CONSIDERACIONES PRÁCTICAS DE APLICACIÓN DEL MODELO VLI .....	134
Determinación de la clasificación STCT.....	134
Barreras para la determinación de STT .....	136
CRITERIOS DE REDUCCIÓN DE LA DIMENSIONALIDAD DE STT .....	137
Reducción de la dimensión del atributo peso LT. ....	138
Reducción de la dimensión del atributo altura de agarre VT. ....	140
Reducción de la dimensión del atributo distancia horizontal HT. ....	143
Reducción de la dimensión del atributo dislocación vertical DT. ....	146
Reducción de la dimensión del atributo calidad del agarre CT. ....	149
Reducción de la dimensión del atributo asimetría AT.....	152
APLICACIÓN INTEGRAL DE LOS CRITERIOS DE REDUCCIÓN.....	155
Aplicación de la reducción a un atributo .....	155
Aplicación de la reducción a todos los atributos .....	157
DETERMINACIÓN DE LAS SUBTAREAS VIRTUALES ST' .....	160
Procedimiento establecido.....	160
Procedimiento de observación reducida .....	163
Paso 1. Determinación del atributo LT y su reducción.....	164
Paso 2. Determinación del atributo altura de agarre VT .....	164
Paso 3. Determinación del atributo distancia horizontal HT.....	165
Paso 4. Determinación del atributo asimetría AT .....	167
Paso 5. Identificación de las subtareas virtuales presentes.....	168
Paso 6. Determinación de las frecuencias de las subtareas virtuales .....	170
Paso 7. Cálculo del VLI .....	171

### PARTE III: APLICACIÓN Y DESARROLLO DE CRITERIOS

<b>Capítulo 7: Aplicación del modelo.....</b>	<b>175</b>
DESCRIPCIÓN DEL CASO .....	175
Contexto productivo del caso .....	175

Contexto organizativo del caso .....	176
Descripción del contenido de trabajo del puesto analizado .....	179
Descripción de la organización del trabajo del puesto de Acomodador .....	180
Elementos de interacción del puesto de acomodador .....	180
Descripción de manipulaciones efectuadas .....	185
JUSTIFICACIÓN DE LA ELECCIÓN DEL CASO .....	187
MEDICIÓN DE LOS LEVANTAMIENTOS .....	189
Metodología de medición .....	189
Resultados .....	189
EXPOSICIÓN DEL PROBLEMA .....	195
APROXIMACIÓN AL PROBLEMA .....	197
Aplicación del modelo VLI .....	197
Reducción del atributo L .....	202
Reducción del atributo V .....	207
Reducción del atributo H .....	210
Reducción del atributo D .....	213
Reducción del atributo A .....	215
Reducción múltiple de los atributos .....	218
Análisis mediante observación reducida de los atributos .....	223
DISCUSIÓN Y CONCLUSIONES .....	231

## PARTE IV: CONCLUSIONES

<b>Capítulo 8: Conclusiones y propuestas .....</b>	<b>237</b>
CONCLUSIONES .....	237
LIMITACIONES DEL ESTUDIO Y PROPUESTAS FUTURAS .....	245
PRODUCCIÓN CIENTÍFICA E IMPACTO DE ESTA INVESTIGACIÓN .....	247
Producción científica .....	247
Artículos .....	247
Libros .....	251
Conferencias .....	252
Impacto de la investigación .....	259
<b>Referencias .....</b>	<b>261</b>



# Listado de tablas

---

Tabla 1.1. Resumen de resultados de referencias en función de la palabra de sondeo y la fuente. ....	19
Tabla 1.2. Resultados de la aplicación del criterio de exclusión. ....	20
Tabla 2.1. Peso límite máximo de diferentes países .....	31
Tabla 2.2. Peso límite máximo sugerido por la OIT en kilogramos [ILO-CIS, 1962] .....	32
Tabla 2.3. Pesos límite recomendados por la OIT, R128 [ILO, 1967b]. ....	32
Tabla 2.4. Lista de países que han ratificado el Convenio de peso máximo C127 de 1962. ....	33
Tabla 2.5. Limitaciones del peso máximo según género, como resultado de la aplicación de la Directiva de Consejo. ....	35
Tabla 2.6. Valores de Fmax.....	38
Tabla 2.7. Valores límite del gasto energético considerados en la ecuación NIOSH revisada.....	42
Tabla 2.8. Comparación de los factores multiplicadores en la ecuación original (1981) y la ecuación revisada (1991).....	44
Tabla 3.1. Función CMi agarre.....	64
Tabla 3.2. Multiplicador de frecuencia y duración. ....	65
Tabla 4.1. Presencia de expertos por país en la muestra consultada. ....	77
Tabla 4.2. Contingencia del tipo de carga y el sector analizado. ....	81
Tabla 4.3. Bondad de ajuste del modelo para cada tipo de carga con la variable sector. ....	81
Tabla 4.4. Probabilidades de analizar el levantamiento de bandejas según sectores. ....	82
Tabla 4.5. Probabilidades de analizar el levantamiento de cajas según sectores. ....	82
Tabla 4.6. Probabilidades de analizar el levantamiento de cubos según sectores.....	83
Tabla 4.7. Probabilidades de analizar el levantamiento de sacos según sectores. ....	83
Tabla 4.8. Probabilidades de analizar el levantamiento de bolsas según sectores .....	83
Tabla 4.9. Probabilidades de analizar el levantamiento de garrafas según sectores. ....	84
Tabla 4.10. Probabilidades de analizar el levantamiento de bidones según sectores.....	84
Tabla 4.11. Probabilidades de analizar el levantamiento de equipos o herramientas según sectores.....	84
Tabla 4.12. Probabilidades de analizar el levantamiento de componentes, piezas o productos acabados según sectores. ....	85

---

Tabla 4.13. Probabilidades significativas de analizar cada tipo de carga según los sectores. ....	85
Tabla 4.14. Contingencia del tipo de carga y la actividad del sistema productivo donde se manipulan. ....	86
Tabla 4.15. Bondad de ajuste del modelo para cada tipo de carga con la variable actividad del proceso productivo. ....	87
Tabla 4.16. Test de independencia entre la calidad de agarre y el tipo de carga. ....	88
Tabla 4.17. Test de independencia entre la variable presencia de agarre de calidad y sector analizado. ....	88
Tabla 4.18. Test de independencia entre la variable presencia de agarre de calidad y actividad del sistema productivo donde se manipula la carga. ....	90
Tabla 4.19. Test de independencia entre el método de evaluación utilizado y los sectores donde se realizan las evaluaciones. ....	91
Tabla 4.20. Probabilidades de uso de cada método de evaluación según se realicen evaluaciones en el sector construcción o no. ....	92
Tabla 4.21. Test de independencia entre el método de evaluación utilizado y el tipo de organización donde ejerce el experto. ....	92
Tabla 4.22. Probabilidades de uso de cada método de evaluación según el tipo de organización donde trabaja el experto. ....	93
Tabla 4.23. Test de independencia entre el método de evaluación utilizado, los años de experiencia del experto y su formación universitaria. ....	93
Tabla 4.24. Test de independencia entre el método de evaluación utilizado, considerando los métodos análogos como el mismo, y las variables que caracterizan al experto. ....	94
Tabla 4.25. Tabla de contingencia de la dificultad de medir cada parámetro y los sectores de actividad en los que se realizan las evaluaciones de riesgo. ....	95
Tabla 4.26. Probabilidades de la dificultad de medir de forma precisa la altura de agarre según los sectores analizados. ....	96
Tabla 4.27. Probabilidades de la dificultad de medir de forma precisa el ángulo de asimetría según los sectores analizados. ....	96
Tabla 4.28. Test de independencia entre cada variable que caracteriza al experto y la dificultad de medir cada parámetro. ....	97
Tabla 4.29. Análisis del modelo de dependencia entre la presencia de variabilidad en cada uno de los parámetros y la variable tipo de carga. ....	99
Tabla 4.30. Test de independencia entre cada tipo de estrategia y el sector donde se realizan las evaluaciones. ....	100
Tabla 4.31. Test de independencia entre la estrategia utilizada y el tipo de organización en la que ejerce el experto (GL=6). ....	101
Tabla 4.32. Probabilidades de utilizar cada una de las estrategias de análisis según el tipo de organización donde ejerce el experto. ....	101



Tabla 4.33. Test de independencia entre la estrategia utilizada y los años de experiencia del experto (GL=2).	102
Tabla 4.34. Test de independencia entre la estrategia utilizada y la formación universitaria base del experto (GL=11).	102
Tabla. 4.35. Test de independencia entre la forma de determinar la frecuencia, el tipo de organización donde ejerce el experto (GL=6), sus años de experiencia (GL=2) y su formación universitaria (GL=11).	103
Tabla 5.1. Existencia de delegados de prevención en centros de trabajo con 6 o más trabajadores, según los responsables de empresa [ENGE, 2009]	111
Tabla 5.2. Existencia de delegados de prevención en centros de trabajo con 6 o más trabajadores, según los trabajadores [ENCT, 2007].	112
Tabla 5.3. Formación proporcionada a los delegados de prevención en materia de seguridad y salud de los trabajadores desde su designación [ENGE, 2009]	113
Tabla. 5.4. Test de independencia entre la proporción de puestos de trabajo que requieren levantar manualmente cargas y el sector de actividad de la empresa.	117
Tabla. 5.5. Previsión de probabilidades de la proporción de puestos de trabajo con levantamiento manual de cargas según el sector de actividad de la empresa.	118
Tabla. 5.6. Test de independencia entre la proporción de puestos de trabajo que requieren levantar manualmente cargas y el sector de actividad de la empresa.	120
Tabla 5.7. Previsión de probabilidades de la frecuencia de variabilidad en la altura de agarre de la carga según el sector de actividad de la empresa.	120
Tabla 5.8. Test de independencia de la presencia de variabilidad en la altura de agarre para cada actividad del sistema productivo.	121
Tabla 5.9. Previsión de probabilidades de la presencia o no de variabilidad en la altura de agarre de la carga según la actividad donde se realiza el levantamiento manual de cargas dentro del sistema productivo.	121
Tabla 5.10. Test de independencia entre la proporción de puestos de trabajo que requieren levantar manualmente cargas y el sector de actividad de la empresa	122
Tabla 5.11. Nivel de dependencia entre la frecuencia de la presencia de variabilidad en el peso de las cargas levantadas manualmente y la actividad dentro del sistema productivo donde se realizan los levantamientos.	123
Tabla 5.12. Probabilidades de la presencia de variabilidad en el peso de las cargas levantadas manualmente según la actividad del sistema productivo donde se realizan los levantamientos.	123
Tabla 5.13. Test de independencia entre el método de evaluación utilizado y las variables sector de la empresa y frecuencia de realización de evaluaciones de riesgo por levantamiento manual de cargas.	127
Tabla 5.14. Probabilidades de uso de cada método de evaluación de riesgo por levantamiento manual de cargas según el nivel de frecuencia de realización de evaluaciones.	128
Tabla 6.1. Universo de las subtarefas virtuales a partir del valor de sus atributos reducidos.	159
Tabla 6.2. Conjunto de subtarefas virtuales asociadas a la clase $L_{j,T}^{int}$	169

Tabla 6.3. Valores precalculados de FIRWL de las subtareas virtuales para los diferentes escenarios de valores de $m_{ref}$ y $A_{CTE}$ .....	169
Tabla 7.1. Puestos de trabajo de la delegación comercial.....	176
Tabla 7.2. Productos en cajas representativos del 80% del total de productos.....	181
Tabla 7.3. Dimensiones relevantes del carro de distribución para el picking de cajas.....	182
Tabla 7.4. Listado de productos en bandejas y pesos representativos de la delegación.....	183
Tabla 7.5. Dimensiones y peso de la bandeja de distribución de productos.....	183
Tabla 7.6. Estructura temporal del contenido del turno de trabajo.....	190
Tabla 7.7. Duración de las fases de levantamiento que componen el turno de trabajo.....	191
Tabla 7.8. Número de levantamientos realizados en el turno según el peso y el tipo de la carga. ....	192
Tabla 7.9. Resultados de las mediciones de los parámetros que definen los levantamientos.....	194
Tabla 7.10. Valores límite que definen los rangos de pertenencia por valores $FILI'$ en el sistema de clasificación STC.....	200
Tabla 7.11. Sistema de clasificación STC con los valores representativos de $FILI'$ y $F'$ .....	200
Tabla 7.12. Resumen de los resultados de aplicación del modelo VLI a los datos originales medidos de las 324 subtareas.....	201
Tabla 7.13. Resumen de los resultados de aplicación del modelo VLI al resultado de aplicar la reducción $Lint$ .....	203
Tabla 7.14. Resumen de resultados de la aplicación de la reducción $Lint$ sobre la reducción $Lext$ .....	206
Tabla 7.15. Resumen de resultados de la aplicación del modelo VLI a la reducción $Vext$ .....	208
Tabla 7.16. Resumen de resultado de la aplicación del modelo VLI al espacio reducido por $Vext$ y $Vr$ .....	209
Tabla 7.17. Resumen de resultados de la aplicación del modelo VLI sobre la reducción $Hr$ .....	210
Tabla 7.18. Resumen de los resultados de aplicación del modelo VLI sobre la reducción $Hr'$ .....	212
Tabla 7.19. Resumen de resultados de aplicación del modelo VLI sobre la reducción $D'$ .....	214
Tabla 7.20. Resultados de la aplicación del modelo VLI al resultado de aplicar la reducción $Ar$ .....	216
Tabla 7.21. Indicadores de calidad de los reductores de cada atributo.....	220
Tabla 7.22. Resumen de resultados de la aplicación del modelo VLI al espacio reducido por $Vr$ y $D'$ .....	220
Tabla 7.23. Resumen de resultados de la aplicación del modelo VLI al espacio reducido por $Vr$ , $D'$ y $Hr'$ .....	221
Tabla 7.24. Resumen de resultados de la aplicación del modelo VLI al espacio reducido por $Vr$ , $D'$ , $Hr'$ y $Ar$ .....	221

Tabla 7.25. Resumen de resultados de la aplicación del modelo VLI al espacio reducido por Vr, D', Hr', Ar y Lint. ....	222
Tabla 7.26. Indicadores de calidad de la aplicación combinada de diferentes reductores. ....	223
Tabla 7.27. Resultados de la aplicación de la reducción Lint al caso. ....	224
Tabla 7.28. Subtareas virtuales resultantes de la observación reducida del caso. ....	227
Tabla 7.29. Resumen de resultados de la aplicación del modelo VLI mediante la observación reducida. ....	228
Tabla 7.30. Resumen de resultados de la aplicación del modelo VLI mediante la observación reducida, utilizando el reductor Hr'. ....	229
Tabla 7.31. Subtareas virtuales resultantes de la observación reducida del caso utilizando la reducción Hr'. ....	230



# Listado de figuras

---

Figura 1.1. Porcentaje de accidentes en jornada de trabajo en España en 2010, según el agente de la forma o contacto que ocasionó la lesión [MESS, 2011].	5
Figura 1.2. Porcentaje de accidentes en jornada de trabajo en España en 2010, según la desviación o suceso anormal que generó el accidente [MESS, 2011]	6
Figura 1.3. Porcentaje de centros de trabajo que han tenido accidentes de trabajo entre 2007-2009 que señalan las posturas forzadas o realización de sobreesfuerzos durante la tarea como principal causa de los accidentes ocurridos en su centro de trabajo [INSHT, 2009]	6
Figura 1.4. Porcentaje de trabajadores (N=11054) que señalan la zona baja de la espalda como una de las zonas del cuerpo con molestias derivadas del trabajo [INSHT, 2007].	7
Figura 1.5. Porcentaje de personas trabajadoras de EU-27 expuestas a los diferentes requerimientos físicos al menos durante el 25% del tiempo de la jornada [EFILWC, 2010].	8
Figura 1.6. Porcentaje de personas expuestas al levantamiento o movimiento de cargas pesadas por frecuencia y sector, N=11054 [INSHT, 2007]	8
Figura 1.7. Resumen cuantitativo de la aplicación del procedimiento sistemático de búsqueda de referencias.	21
Figura 3.1. Comportamiento de la función FMi.	68
Figura 4.1. Años de experiencia de la muestra de expertos consultados.	76
Figura 4.2. Formación universitaria base de los expertos en prevención de riesgos laborales consultados	78
Figura 4.3. Tipo de organización en la que ejercen los expertos consultados.	78
Figura 4.4. Frecuencia de realización de evaluaciones de riesgo de levantamiento manual de cargas por sectores de actividad.	79
Figura 4.5. Tipos de cargas analizadas frecuentemente por los expertos consultados.	80
Figura 4.6. Valoración de la presencia de agarres cómodos en las cargas analizadas.	87
Figura 4.7. Frecuencias de casos positivos según la presencia de agarres de cómodos en las cargas levantadas y el sector de actividad analizado.	89
Figura 4.8. Casos positivos de presencia de agarres cómodos según la fase del sistema productivo donde se manipulan.	89
Figura 4.9. Frecuencia de uso de los diferentes métodos de evaluación del riesgo por levantamiento manual de cargas.	91
Figura 4.10. Porcentaje de expertos que afirman dificultad de medir de forma precisa cada uno de los parámetros del levantamiento manual.	95

Figura 4.11. Valoración de la frecuencia de variación de cada uno de los parámetros que caracterizan la exposición al riesgo. ....	98
Figura 4.12. Presencia de la variabilidad en cualquiera de los cuatro parámetros según la actividad donde se realiza el levantamiento. ....	99
Figura 4.13. Frecuencia de uso de las distintas estrategias de análisis de la variabilidad de la exposición. ....	100
Figura 4.14. Porcentaje de uso de cada una de las técnicas para determinar la frecuencia de levantamientos cuando se evalúa un caso. ....	103
Figura. 5.1. Distribución de la muestra de delegados de prevención según los años de designación en esta función. ....	114
Figura 5.2. Distribución de la muestra de delegados de prevención según el sector de actividad del centro donde trabajan. ....	115
Figura 5.3. Distribución de la experiencia en la designación como delegados de prevención según el sector de actividad donde trabajan. ....	115
Figura 5.4. Frecuencia de la proporción de puestos de trabajo en la empresa que requieren levantar manualmente cargas. ....	116
Figura 5.5. Distribución de la proporción de puestos de trabajo en la empresa que requieren levantar manualmente cargas según el sector de actividad. ....	117
Figura 5.6. Frecuencias de presencia significativa de levantamientos manuales de cargas por actividad. ....	119
Figura 5.7. Frecuencia de la presencia de variabilidad en la altura de agarre en las tareas de levantamiento. ....	119
Figura 5.8. Frecuencia de la presencia de variabilidad en el peso de las cargas a levantar manualmente. ....	122
Figura 5.9. Frecuencia de la realización de evaluaciones de riesgo por levantamiento manual de cargas en las empresas. ....	125
Figura 5.10. Frecuencia de realización de evaluaciones de riesgo por levantamiento manual de cargas en las empresas según la cantidad de puestos de trabajo que requieren levantar cargas manualmente. ....	125
Figura 5.11. Frecuencia de uso de los diferentes métodos de evaluación del riesgo por levantamiento manual de cargas según el conocimiento de los delegados de prevención. ....	127
Figura 5.12. Presencia de levantamientos manuales de cargas pesadas en los puestos de trabajo [INSHT, 2007]. ....	129
Figura 6.1. Función VM original respecto a la función del espacio reducido VMr. ....	142
Figura 6.2. Función HM original respecto a la función del espacio reducido HMr. ....	145
Figura 6.3. Función DM original respecto a la función del espacio reducido DMr. ....	147
Figura 6.4. Distribución de los datos de los conjuntos $D_{T1}$ , $D_{T2}$ y $D_{T3}$ . ....	148
Figura 6.5. Función CM original respecto a la función del espacio reducido CMr. ....	151

Figura 6.6. Función AM original respecto a la función del espacio reducido AMr.....	154
Figura 6.7. Plantilla para el registro de los atributos Vext y Hr de la observación reducida. ....	166
Figura 6.8. Plantilla para el registro del atributo Ar' de la observación reducida. ....	168
Figura 7.1. Distribución de los puestos de trabajo de la delegación comercial, y ubicación del puesto de acomodador dentro de la cadena de suministro. ....	177
Figura. 7.2. Layout del centro logístico Sant Feliu y distribución de zonas de trabajo. ....	178
Figura 7.3. Distribución de tareas y pausas en el turno de trabajo del acomodador. ....	180
Figura 7.4. Dimensiones de la jaula.....	184
Figura 7.5. Dimensiones de alturas en los camiones de Preventa 1.....	185
Figura 7.6. Dimensiones de los elementos de la manipulación 1 de acuerdo a la variación de alturas en origen (jaula) y destino (camión). ....	186
Figura 7.7. Dimensiones de los elementos de la manipulación 2 de acuerdo a la variación de alturas en origen (palet) y destino (carro). ....	187
Figura 7.8. Distribución de los pesos (kg) de las cargas levantadas, con peso mayor o igual a 3kg. ....	192
Figura 7.9. Distribución de la frecuencia de levantamientos según el peso de la carga levantada manualmente en el turno. ....	193
Figura 7.10. Diagrama de cajas de los valores medidos de los atributos V, H, A y D. ....	194
Figura 7.11. Distribución de los valores de los multiplicadores VM, HM, AM y DM. ....	198
Figura 7.12. Distribución de los valores FILI de los 324 levantamientos realizados. ....	199
Figura 7.13. Distribución de los valores de FILI según el peso de la carga levantada. ....	202
Figura 7.14. Distribución de los valores de Lext comparados a la distribución de valores de L.....	203
Figura 7.15. Distribución de los valores FILI calculados sobre el espacio reducido Lext en comparación con los valores FILI de los datos originales. ....	204
Figura 7.16. Distribución de valores del peso tras la aplicación de la reducción Lint comparados con los valores originales de L. ....	205
Figura 7.17. Distribución de valores FILI resultantes de la reducción Lint respecto a la distribución de los valores FILI de los datos sin reducir. ....	206
Figura 7.18. Distribución de los valores del multiplicador VMext en comparación con VM de los datos originales sin reducir.....	207
Figura 7.19. Distribución de los valores VMr y VM.....	208
Figura 7.20. Distribuciones de valores FILI resultantes de las dos reducciones del atributo V comparadas con los valores FILI originales. ....	209
Figura 7.21. Distribuciones de valores del multiplicador HM con la aplicación de las reducciones HMr y HMr', comparados con la distribución de valores de HM originales.....	211

Figura 7.22. Distribuciones de los valores FILI para las reducciones Hr y Hr' en comparación con los valores FILI sin reducir. ....	213
Figura 7.23. Distribución de los valores del multiplicador DM aplicando la reducción D', comparado a su distribución sin reducirlo.....	214
Figura 7.24. Distribución de valores FILI obtenidos tras la aplicación de la reducción D' comparado a la distribución de los valores sin la reducción. ....	215
Figura 7.25. Distribuciones de los valores del multiplicador AM al resultado de la reducción Ar en comparación con los valores sin reducir el atributo A.....	216
Figura 7.26. Distribuciones de los valores FILI resultantes de la reducción Ar y originales sin reducir.....	217
Figura 7.27. Dispersión de los valores del atributo A según los valores de FILI.....	218
Figura 7.28. Distribuciones de los valores FILI de la aplicación de los reductores a los atributos posturales de forma individual. ....	219
Figura 7.29. Distribuciones de los valores FILI para reducciones combinadas en diferentes atributos.....	222
Figura 7.30. Distribución de los valores de los atributos V y H en una observación reducida del caso. ....	224
Figura 7.31. Registro de observación reducida de los atributos Vext y Hr del origen de los levantamientos del caso. ....	225
Figura 7.32. Registro de observación reducida de los atributos Vext y Hr del destino de los levantamientos del caso. ....	226
Figura 7.33. Registro de observación reducida del atributo Ar' de los levantamientos del caso. ....	226
Figura 7.34. Distribuciones de los valores de los multiplicadores de la observación reducida comparados con sus valores medidos de forma precisa. ....	228
Figura 7.35. Error relativo de cada tipo de reducción sobre el valor VLI. ....	231
Figura 7.36. Dispersión de las reducciones según el valor VLI obtenido y número de subtareas virtuales a las que han reducido el problema. ....	232
Figura 7.37. Dispersión de los valores FILI respecto al peso levantado para la reducción (Lext, Vext, Vr, D', Hr', Ar) y para los datos originales.....	233
Figura 7.38. Dispersión de valores FILI respecto al peso levantado para la reducción (Vext, Vr, D', Hr', Ar), sin reducción de L, y para los datos originales. ....	234



Parte I

INTRODUCCIÓN Y FUNDAMENTOS  
TEÓRICOS



# Introducción y Motivación

---

## Introducción

Según datos oficiales europeos [EUROSTAT, 2010], el 8.6% de la población laboral de EU-27 ha sufrido un problema de salud derivado del trabajo en el último año, que corresponden aproximadamente con 20 millones de personas, de las cuales, el 28% de los casos están relacionados con problemas en la espalda; el 61% de las personas cuyo principal problema de salud es de tipo musculoesquelético les generó baja laboral; y aproximadamente, a tres cuartas partes de estas personas, los problemas musculoesqueléticos les provocó limitaciones importantes en las actividades diarias, tanto en el trabajo como fuera de él.

Realizar esfuerzos que contribuyan, en mayor o menor medida, a mejorar esta situación es una motivación moral del autor de esta investigación, y debería serlo de toda la sociedad.

Y no sólo es un tema moral para la sociedad, sino también económico. Aunque la ausencia de criterios uniformes hace difícil la comparación entre Estados Miembros, algunos estudios estiman que el coste económico derivado de todas las enfermedades relacionadas con el trabajo es del orden del 2,6 al 3,8% de Producto Interior Bruto [EASHW, 2000a], y específicamente, los trastornos musculoesqueléticos del orden del 2% [EASHW, 2007].

Datos más recientes, por ejemplo de Austria, Alemania o Francia, demuestran un

impacto económico creciente de los trastornos musculoesqueléticos. En Francia, por ejemplo, en 2006, los trastornos musculoesqueléticos han originado siete millones de días de trabajo perdidos, con un coste aproximado de 710 millones de euros [EASHW, 2010]

Y el problema está creciendo. La ocurrencia de problemas musculoesqueléticos como el principal problema de salud derivado del trabajo en Europa se ha incrementado entre 1999 y 2007 [EUROSTAT, 2010]. Además, en todos los Estados Miembros, la población laboral se está envejeciendo, y con ello, crece el riesgo de incrementar la prevalencia de trastornos musculoesqueléticos en los próximos 30 ó 40 años [THE WORK FOUNDATION, 2009].

Por otro lado, nos encontramos en una situación donde la crisis actual ha deteriorado el mercado laboral europeo; es en esta situación que maximizar la productividad laboral y asegurar que la población laboral esté preparada para sacar el máximo provecho cuando la economía se recupere toma mayor importancia. Con el aumento del desempleo, ahora es aún más importante garantizar que haya menos personas con enfermedades o condiciones crónicas de largo plazo. Este aspecto será especialmente importante para la economía europea cuando finalice la crisis [THE WORK FOUNDATION, 2009].

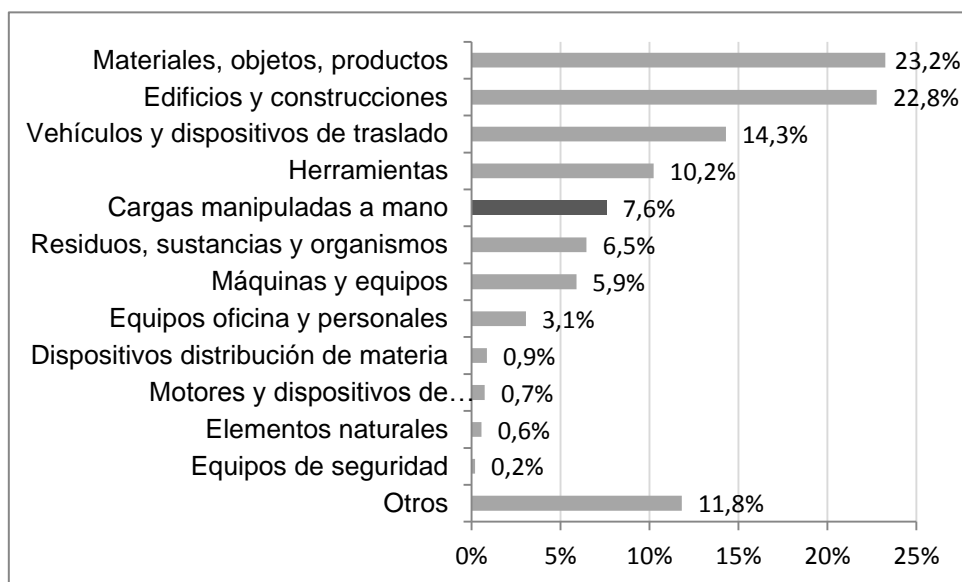
El problema es multicausal, pero los requerimientos de trabajo más citados como los causantes de trastornos musculoesqueléticos son el levantamiento manual de cargas y la realización de importantes esfuerzos manuales [THE WORK FOUNDATION, 2009]. La evidencia que el levantamiento manual de cargas puede entrañar riesgo a la salud, especialmente en la zona dorsolumbar, es tan clara que se afirma en una Directiva Europea [COUNCIL OF EUROPEAN COMMUNITIES, 1990].

Se entiende por levantamiento manual de cargas cuando un objeto es levantado o descendido mediante fuerza humana para moverlo de una posición inicial a una final [CEN, 2001].

Es difícil proporcionar datos oficiales de cómo el levantamiento manual de cargas está afectando a la salud de la población laboral. En algunos Estados, como en España o Reino Unido, los episodios agudos de problemas musculoesqueléticos originados por el levantamiento manual de cargas, se consideran como accidentes

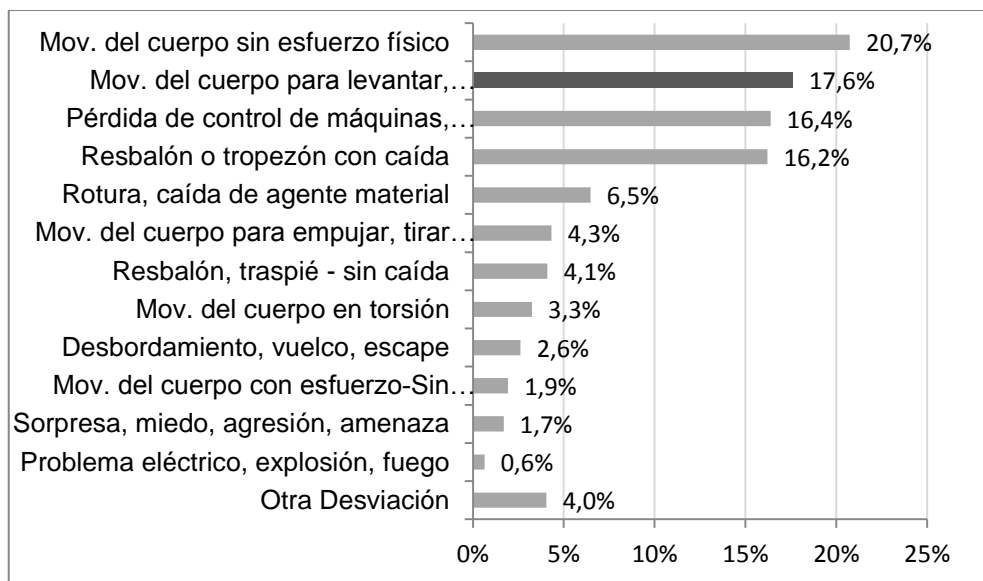
de trabajo. [EASHW, 2010].

Por este motivo, es difícil precisar la magnitud del problema sobre la población laboral española, pero, del análisis de los partes de accidentes en jornada de trabajo con baja laboral que se produjeron en España en el 2010 [MESS, 2011], se puede derivar que la magnitud de este problema no es despreciable. Las cargas manipuladas a mano fueron el agente de la forma o contacto que ocasionó la lesión en el 7,6% de los accidentes de trabajo; dato bastante consistente con el hecho que en el 7,35% de los accidentes, la actividad física que realizaba la persona trabajadora era transportar verticalmente (alzar, levantar, bajar, etc.) un objeto (**figura 1.1**).



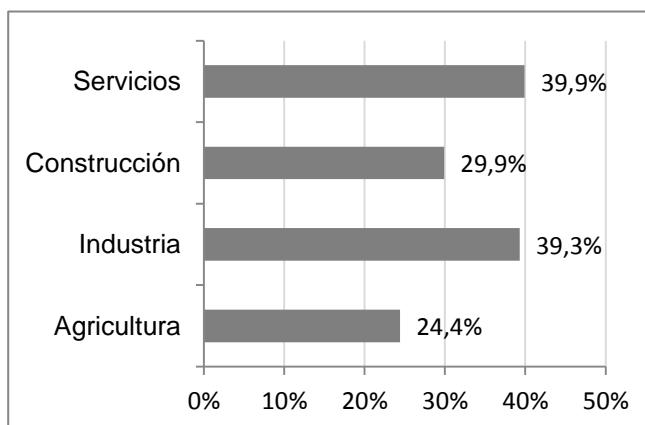
**Figura 1.1.** Porcentaje de accidentes en jornada de trabajo en España en 2010, según el agente de la forma o contacto que ocasionó la lesión [MESS, 2011].

Aún más significativo es el dato que se extrae del mismo registro de accidentes, donde el movimiento del cuerpo realizando un esfuerzo físico para levantar o depositar objetos (**figura 1.2**) fue la desviación o suceso anormal que generó el accidente en el 17,6% de los casos [MESS, 2011].



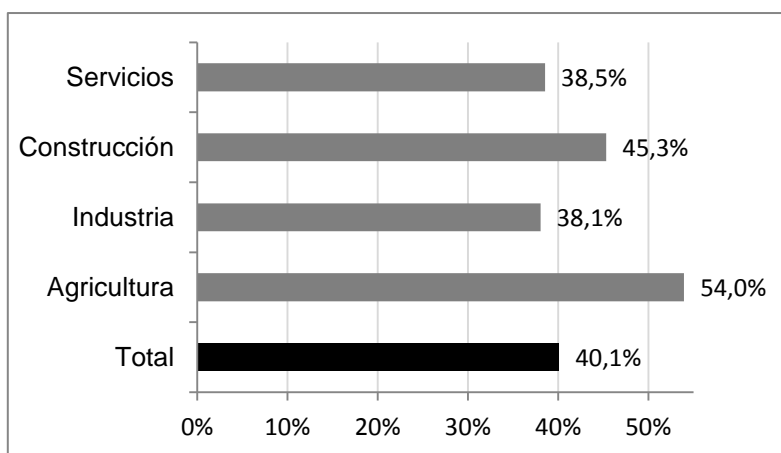
**Figura 1.2.** Porcentaje de accidentes en jornada de trabajo en España en 2010, según la desviación o suceso anormal que generó el accidente [MESS, 2011]

Los empresarios también reconocen este problema (**figura 1.3**), cuando más del 20% de ellos (N=1087) señalan a las posturas forzadas o realización de sobreesfuerzos durante la tarea como principal causa de los accidentes ocurridos en su centro de trabajo [INSHT, 2009].



**Figura 1.3.** Porcentaje de centros de trabajo que han tenido accidentes de trabajo entre 2007-2009 que señalan las posturas forzadas o realización de sobreesfuerzos durante la tarea como principal causa de los accidentes ocurridos en su centro de trabajo [INSHT, 2009]

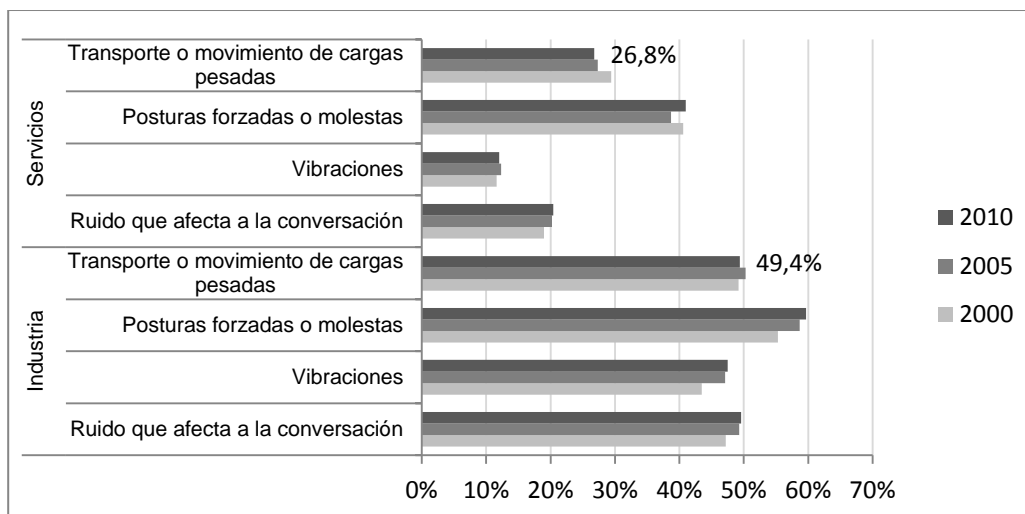
Como se ha comentado antes, ante una exposición a levantamiento manual de cargas, la zona del cuerpo de mayor vulnerabilidad a sufrir daño es la zona baja de la espalda. Y efectivamente, el daño se está produciendo, afirmando el 40% de las personas trabajadoras en España que sienten molestias en la zona baja de la espalda a causa del trabajo (**figura 1.4**).



**Figura 1.4.** Porcentaje de trabajadores (N=11054) que señalan la zona baja de la espalda como una de las zonas del cuerpo con molestias derivadas del trabajo [INSHT, 2007]

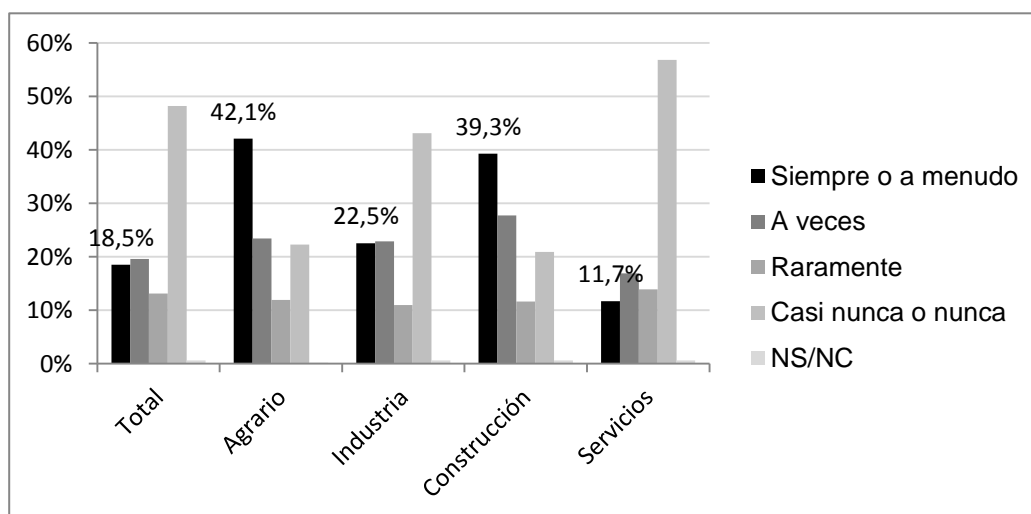
De hecho se estima que los problemas de espalda, generan unos costes asociados por encima de los 12 mil millones de euros en Europa [THE WORK FOUNDATION, 2009].

Pero sí que hay disponibilidad de datos oficiales sobre la exposición a este requerimiento de trabajo. Según la encuesta europea sobre condiciones de trabajo del 2010 [EFILWC, 2010], el 33,5% de la población laboral europea está expuesta durante más del 25% del tiempo de la jornada laboral a mover cargas pesadas, llegando al 49,4% en la empresas del sector industrial (**figura 1.5**).



**Figura 1.5.** Porcentaje de personas trabajadoras de EU-27 expuestas a los diferentes requerimientos físicos al menos durante el 25% del tiempo de la jornada [EFILWC, 2010]

En España, se encuentran cifras significativas sobre la exposición al levantamiento o movimiento de cargas pesadas, donde los porcentajes de trabajadores que afirman estar expuestos a este requerimiento siempre o a menudo (**figura 1.6**), son 42,1% en el sector agrario, 39,3% en la construcción, 22,5% en industria y 11,7% en servicios [INSHT, 2007].



**Figura 1.6.** Porcentaje de personas expuestas al levantamiento o movimiento de cargas pesadas por frecuencia y sector, N=11054 [INSHT, 2007]



La evaluación del riesgo, entendida como un procedimiento analítico que permita cuantificar el riesgo por exposición a los requerimientos del trabajo de las personas trabajadoras, son la base de la ergonomía laboral para dirigir las prioridades y los diseños de las intervenciones, tal y como está recogido en diversas normas técnicas ISO y CEN.

Las metodologías de evaluación de riesgo también son necesarias para el desarrollo de los estudios epidemiológicos. Los estudios epidemiológicos se diseñan para analizar la relevancia de la relación entre la exposición a factores de riesgo ergonómicos (p. ej. Fuerza, repetitividad, postura) y los posibles estados de salud (considerando desde enfermedades diagnosticadas hasta manifestaciones subjetivas de dolor o molestias) en poblaciones de trabajadores determinadas [MONROE, 2000].

Otras áreas de conocimiento y disciplinas profesionales, relacionadas directamente con la ingeniería, que requieren analizar este tipo de riesgo son el diseño de máquinas [CEN, 2003] y la organización de la producción y la mejora continua, donde la implantación e integración de sistemas de gestión de mejora continua, como el lean management, pueden ser una oportunidad o una amenaza, dependiendo del nivel de integración de la ergonomía [WOMACK, et al., 2009].

Normalmente, las evaluaciones de los factores de riesgo físicos se realizan con uno o varios de los métodos disponibles, entre los cuales están los cuestionarios a trabajadores, la observación sistemática de los puestos de trabajo por un analista y la medición directa con sensores basados en la instrumentación [LOWE, KRIEG, 2009; STOCK et al., 2005].

La manifestación subjetiva de los trabajadores puede ser un método utilizado para recoger datos sobre la exposición laboral a factores físicos y psicosociales utilizando herramientas como hojas de registro diarias, entrevistas y cuestionarios. Los cuestionarios se utilizan con frecuencia en los programas de vigilancia de la salud, ya que se consideran herramientas simples y válidas para evaluar la exposición biomecánica [LECLERC, 2005; BALOGH et al., 2001; HANSSON et al., 2001; CHEN et al., 2002].

El principal problema de estos métodos es que se ha demostrado que las percepciones de los trabajadores sobre la exposición son imprecisas y poco fiables.

El uso de estos métodos para cuantificar el nivel absoluto de la exposición no es recomendable [POPE et al., 1998] pero pueden ser útiles para identificar grupos de trabajadores expuestos a un mayor nivel de riesgo que los otros y así priorizar el análisis específico mediante otros métodos [BURDOF, A. 1999]. Los niveles de fiabilidad y validez obtenidos mediante estos métodos es demasiado bajo para su uso como base para la intervención de la ergonomía [LI, BUCKLE, 1999].

El método más frecuentemente utilizado es la evaluación de la exposición mediante la observación sistemática. Los métodos basados en la observación directa tienen más ventajas porque son más baratos, implican menos requerimientos técnicos y proporcionan más datos fácilmente analizables que los métodos basados en la instrumentación [KILBOM, 1994]. También se considera que la observación sistemática por un analista formado o un ergónomo es más fiable que la documentación sobre la exposición obtenida a partir de la percepción de los trabajadores.

Ante la necesidad de analizar y evaluar el riesgo por exposición de la persona trabajadora mediante métodos de observación y medición sistemática, las metodologías propuestas hasta la fecha van dirigidas principalmente al análisis de exposiciones constantes o de poca variabilidad. En cambio, la casuística muestra la presencia de levantamientos manuales de carga en condiciones de alta variabilidad. A modo ilustrativo, sin ánimo de ser exhaustivos, se pueden enunciar los siguientes casos:

- Trabajos en centros logísticos, sobre todo si se distribuyen los productos en modalidad “picking”. En estos casos, generalmente, cada producto se levanta manualmente 2 veces, una al cogerlo del almacén y depositarlo en un carro y otra al cogerlo del carro y depositarlo en el palet o sistema de transporte final. Se trabaja con una alta variabilidad de productos (es habitual manejar más de 200 referencias, es decir, más de 200 pesos diferentes); cada producto con un peso y dimensiones diferente. Los productos levantados están almacenados apilados en estanterías y se depositan apilados en ambos levantamientos; por tanto, para un producto dado (peso dado), las geometrías del levantamiento (distancias verticales y horizontales) son muy diversas.
- Trabajos en industria, en tareas como la gestión de stocks intermedios, la

evacuación de producto defectuoso, el suministro de materias primas a línea, etc. En la industria auxiliar de automoción es común la presencia de un tren logístico, cuya gestión se realiza desde un puesto de trabajo especializado, para proveer componentes que se deben procesar en las distintas estaciones de trabajo; se le llama tren por estar configurado por varios carros unidos mediante articulación que se utiliza para el transporte desde el almacén hasta cada una de las posiciones de trabajo en producción. Normalmente, cada carro tiene 2 estanterías en las que se apilan las cajas con las componentes, y se depositan manualmente en tolvas o en estanterías establecidas a diferentes alturas en las estaciones de trabajo.

- Trabajos en comercio, al por mayor y al detalle, principalmente en los trabajos de reposición de producto para su exposición al cliente, ya sea como puesto de trabajo especializado o como una tarea adicional asignada al puesto de trabajo de atención al cliente y venta. Como ejemplo, se puede mencionar la reposición de productos al inicio o durante la jornada en centros de trabajo como carnicerías, pescaderías, fruterías, etc.; el producto se expone apilado manipulando cajas de pesos significativos o se expone distribuido en un expositor manipulando algunos productos de peso considerable. Las cajas de frutas, verduras y pescado suelen pesar entre 5 y 12 kg, y una pata de jamón curado puede pesar unos 8 kg. Estas cajas o piezas se levantan manualmente de la cámara frigorífica al expositor, estantería o gancho, realizando otro levantamiento adicional si se utiliza un carro para el transporte.
- Trabajos en construcción, en el acopio de materiales y herramientas a la obra, en el transporte de materiales y herramientas durante la obra y en el montaje o construcción. Los peones de obra normalmente realizan este tipo de tareas casi de forma especializada. Además, los oficiales de 1ª realizando tareas especializadas en la obra también realizan levantamientos de materiales muy diversos; por ejemplo, un pintor, levanta continuamente la escalera (una escalera de 3 metros de altura puede pesar unos 10kg), la lijadora orbital (unos 4kg), los envases de pintura (desde 3kg a 20kg), el agitador de botes (unos 5kg), etc. Y todos estos levantamientos, cada vez, se realizan en diferentes condiciones de alturas y distancias horizontales.

En todos estos casos mencionados, existe una alta variabilidad en la exposición y la dificultad del análisis de estas exposiciones variables está ampliamente recogida en la literatura científica.

Por ejemplo, la estimación objetiva de la exposición en grupos de control, se considera una cuestión difícil y problemática [RITZ, 1995; FALLENTIN et al., 2001; VAN DEN HEUVEL et al., 2005], debido a la gran variación que se presenta en las distintas exposiciones dentro de los grupos [FALLENTIN et al. 2001].

Incluso se ha manifestado que se produce una gran variación individual en la carga física en los casos que diferentes personas realizan la misma tarea [BALOGH et al., 1999; FALLENTIN et al., 2001], lo que sugiere que la evaluación de la exposición a nivel de grupo representará erróneamente la exposición individual.

Pocas herramientas de medición en ergonomía definen explícitamente cuándo y cómo muestrear la exposición [GOLD et al., 2006]. La mayoría de evaluaciones de la exposición ergonómicas se basan en una estrategia de muestreo de selección de la tarea (s) o elemento (s) que se considere más exigente, y realizar la evaluación del riesgo o desarrollar un plan de intervención basado en esta información [ACGIH, 2001, HIGNETT, 2000; MCATEMNEY, 1993; MOOR, 1995; WATERS, 1993]. Este enfoque se ha extrapolado para predecir la exposición de un día completo [NORMAN et al., 1998] e incluso para predecir un tiempo de exposición de toda una vida [KUMAR, 1990].

No es frecuente llevar a cabo mediciones continuas de la exposición durante un turno de trabajo completo. En cambio, se conoce que la sobrecarga acumulada en la columna es un buen predictor de las lumbalgias, independientemente de los picos de carga [NORMAN et al., 1998].

Es evidente que si las intervenciones se centran en reducir la exposición máxima del 'peor caso' que se ha medido, es posible que se aumente la exposición acumulada, obteniendo finalmente una reducción del riesgo pequeña o nula [DAYNARD et al., 2001].

Si no se obtiene una exposición representativa del trabajo se puede producir una sobre o sub-valoración del riesgo [MCATAMNEY, NIGEL, 1993]. Las evaluaciones de duración corta comportan necesariamente suponer, implícita o explícitamente, que las características medidas de la exposición son representativas del periodo

de tiempo más largo sobre el que se extrapolarán [GOLD et al., 2006].

Existe un reconocimiento extendido sobre la necesidad de investigación en esta área. Ya en el año 2000, en el informe sobre las necesidades futuras de investigación en seguridad y salud ocupacional en Europa [EASHW, 2000b], los Estados Miembros priorizaron la manipulación manual de cargas, junto con el estrés laboral y las posturas forzadas, como áreas de investigación futura, específicamente se menciona la necesidad de estudios para desarrollar y evaluar métodos de evaluación del riesgo prácticos.

El mismo año, en otro documento de la Agencia Europea específico sobre los trastornos de la zona baja de la espalda relacionados con el trabajo [EASHW, 2000a], se ha resalta la necesidad de desarrollar procedimientos y criterios estandarizados para incrementar la consciencia de todos los problemas asociados con este tipo de trastornos e incrementar el uso de metodologías estandarizadas para evaluar el riesgo. Además, se sugiere que el principal foco de investigaciones futuras sobre los trastornos en la zona dorsolumbar debería ser sobre cómo las técnicas de ergonomía se pueden utilizar de un forma más efectiva en la práctica. Estas investigaciones deberían incluir estudios para desarrollar métodos de evaluación del riesgo prácticos para su uso en los puestos de trabajo [EASHW, 2000a].

Pasados unos cuantos años, se sigue remarcando que el uso de evaluaciones de riesgo de los requerimientos del trabajo reducirá la incidencia de los trastornos derivados del trabajo, pero es necesario que se desarrollen procedimientos de evaluación del riesgo, utilizando un proceso estructurado, que permita identificar a las personas trabajadoras expuestas a riesgo [THE WORK FOUNDATION, 2009].

Y es en este contexto, que se planteó el desarrollo de esta investigación, dando continuidad a las investigaciones realizadas por el autor en este ámbito desde hace quince años, desarrollando una metodología que permita analizar y evaluar exposiciones al riesgo por levantamiento manual de cargas altamente variables.

# Formulación del problema de tesis

A continuación se expone la descripción formal del problema de tesis.

Sea  $T$  una tarea de levantamiento de cargas, cuyo universo de análisis del riesgo por levantamiento manual de cargas es  $\{FLI_T, N_T, WD_T, TL_T, TF_T, ST_T, F_T, LI_T\}$ , donde

$FLI_T$  es número positivo que represente el nivel de riesgo final de la tarea  $T$  al que está expuesta la persona trabajadora debido al levantamiento manual de cargas;

$N_T$  representa el número de subtareas que componen la tarea  $T$ ;

$WD_T$  representa la duración de la tarea de levantamientos en el turno y los periodos de recuperación;

$TL_T$  representa el número de levantamientos de cargas que se realiza durante  $WD_T$ ;

$TF_T$  representa la frecuencia de levantamientos de cargas de la tarea  $T$ , es decir, el ritmo de trabajo;

$ST_T : \{ST_{1,T}, \dots, ST_{N,T}\}$ , es el conjunto finito de subtareas que componen la tarea  $T$ ;

$F_T : \{F_{1,T}, \dots, F_{N,T}\}$ , es el conjunto de valores de la frecuencia de levantamientos por minuto de cada subtask de la tarea  $T$ ;

$LI_T : \{LI_{1,T}, \dots, LI_{N,T}\}$ , es el conjunto de índices de riesgo asociados a cada subtask de la tarea  $T$ ;

Se quiere construir un modelo de análisis y transformación de la información contenida en el subconjunto  $\{N_T, WD_T, TL_T, TF_T, ST_T, F_T, LI_T\}$  para determinar el valor de  $FLI_T$ , especialmente en los casos donde  $N_T >> 1$ .

# Planteamiento de las hipótesis

## Hipótesis de investigación

Para afrontar la investigación de aproximación al problema expuesto, se plantean las siguientes hipótesis de investigación.

- H1. El método más utilizado por los expertos y profesionales competentes para la evaluación del riesgo por levantamiento manual de cargas es la ecuación NIOSH revisada.
- H2. El método de la ecuación NIOSH revisada tiene actualmente la suficiente validez científica para ser considerado el modelo de referencia para el análisis de la exposición al riesgo por levantamientos manuales de cargas.
- H3. La exposición al levantamiento manual de cargas en condiciones variables es un requerimiento de trabajo frecuente en la mayoría de las empresas de todos los sectores productivos.
- H4. Las estrategias de análisis de la exposición al riesgo por levantamientos manuales de cargas utilizadas por los expertos y profesionales competentes en casos de alta variabilidad tienden a subvalorar o sobrevalorar el riesgo.
- H5. El modelo de la ecuación NIOSH revisada para el análisis de riesgo por levantamiento manual de cargas es altamente impreciso para el análisis de casos de alta variabilidad.
- H6. En la práctica, el agarre que permiten las cargas que se levantan manualmente se puede considerar de calidad escasa en la mayoría de los casos.
- H7. La reducción del dominio de los atributos que caracterizan los levantamientos manuales de cargas es una estrategia de análisis de condiciones altamente variables que proporciona alta precisión en los resultados.

## Unidad de investigación, ámbito espacial y temporal

Las diferentes hipótesis de investigación planteadas comportan diferentes unidades de investigación.

La unidad de investigación de las hipótesis H3 y H6 corresponde con puestos de trabajo que componen los sistemas productivos de los diferentes sectores de actividad, donde el levantar manualmente cargas forma parte de su contenido de trabajo diario.

La unidad de investigación de la hipótesis H1 es una tarea laboral de levantamiento manual de cargas.

La unidad de investigación de las hipótesis H4, H5 y H7 es una tarea laboral de levantamiento manual de cargas en condiciones altamente variables.

La hipótesis H2 requiere que la unidad de investigación sea el modelo matemático de la ecuación NIOSH revisada.

Respecto al ámbito espacial y temporal, las hipótesis H1, H3, H4 y H6 se contrastarán en un ámbito espacial de países de habla hispana, con mayor énfasis en España, y específicamente en Catalunya; su ámbito temporal es contemporáneo, en un marco temporal comprendido dentro de los últimos 12 meses previos a la publicación de este trabajo. Las hipótesis H2, H5 y H7 no tienen delimitado un ámbito espacial, siendo hipótesis enunciadas de forma universal, y por tanto, tampoco están asociadas a un marco temporal específico.

## Objetivos de la investigación

El objetivo general de este trabajo es aportar nuevo conocimiento en el ámbito de la ergonomía laboral, la epidemiología, la organización del trabajo y la prevención de riesgos laborales, avanzando en las técnicas de análisis de la exigencia física del trabajo, específicamente debido al levantamiento manual de cargas, que motive



la mejora de la eficacia en las estrategias de mejora de condiciones de trabajo y optimización de los sistemas productivos, mediante los siguientes objetivos específicos de investigación:

1. Establecer una metodología formal para el análisis de tareas de levantamiento manual cuyas condiciones son altamente variables, que interprete de forma cuantitativa el nivel de exigencia física al que está expuesto la persona trabajadora.
2. Realizar una propuesta bajo una aproximación teórica que permita generar conocimiento explícito directamente a partir de las características de los levantamientos, de manera que el experto pueda priorizar y simular las intervenciones necesarias para mejorar las condiciones de trabajo.
3. Obtener un modelo conceptual de caracterización precisa de la exposición al riesgo por levantamiento manual de cargas altamente variables, que permita el desarrollo de estudios epidemiológicos de relación entre la exposición y el daño en la población trabajadora.
4. Desarrollar los criterios de aplicación para la reducción del problema de levantamientos variables, que disminuyan de forma significativa la dimensionalidad del problema a analizar con la mínima pérdida de precisión en la cuantificación del nivel de exposición de la persona trabajadora.
5. Aplicar la propuesta metodológica a un caso de un puesto de trabajo, cuyo principal contenido está descrito por levantamientos manuales de cargas en condiciones variables, desarrollando el procedimiento de selección y aplicación de los distintos criterios metodológicos que forman parte del modelo propuesto.

# Metodología de la investigación

A continuación se describen las metodologías de investigación utilizadas en esta investigación para cada una de las fases u objetos de investigación.

## Análisis del estado de la cuestión

La metodología utilizada para el análisis del estado de la cuestión de investigación es, principalmente, el análisis de la literatura resultante de la aplicación de una heurística metódica.

El desarrollo de la revisión de la literatura se ha basado en un protocolo metódico donde se establecen las pautas esenciales de la heurística que ha dirigido la búsqueda de información para la propuesta de investigación. Así mismo, se ha desarrollado una metodología de validación de los artículos indexados de donde se han obtenidos los documentos que soportan esta investigación.

## Fuentes de información

La revisión de la literatura se ha realizado por medio de las revistas indexadas más relevantes en el Journal Citation Report Ranking (JCR) las cuales son:

- Human factors and ergonomics in manufacturing & service industries, editorial John Wiley & Sons.
- International journal of industrial ergonomics, editorial Elsevier Science Pub. Co.
- Applied ergonomics, editorial Elsevier Science.
- Ergonomics, editorial Taylor & Francis.
- Theoretical Issues in Ergonomics Science, editorial Taylor & Francis.

En cada una de estas publicaciones se estableció una estrategia de búsqueda de artículos acotados a un marco temporal limitado a partir del año 2000; evidentemente, en algunos casos, el análisis posterior de los estudios ha podido requerir

analizar algunas fuentes originales fuera de este marco temporal.

### Palabras clave de sondeo

La búsqueda principal fue guiada por las palabras clave de sondeo lifting (lift\*) en el título o en el contenido, y la palabra Niosh en el contenido del artículo; dado que la búsqueda se realizó en publicaciones especializadas en el ámbito de la ergonomía, estos términos están asociados fuertemente con el análisis del levantamiento manual de cargas y la ecuación NIOSH como metodología de evaluación.

En total se han obtenido 1.698 referencias clasificadas de la siguiente manera:

Revista	Editorial	lifting (lift*)		niosh
		título	contenido	contenido
Human factors and ergonomics in manufacturing & service industries	John Wiley & Sons	10	80	45
International journal of industrial ergonomics	Elsevier Science Pub. Co.	33	275	273
Applied ergonomics	Elsevier Science	22	277	153
Ergonomics	Taylor & Francis	43	315	93
Theoretical Issues in Ergonomics Science	Taylor & Francis	6	49	24

**Tabla 1.1.** Resumen de resultados de referencias en función de la palabra de sondeo y la fuente.

### Criterios de exclusión e inclusión

Se aplicaron los siguientes tres criterios de exclusión al total de las 1.698 referencias:

- La intersección; las dos palabras clave Lifting y Niosh contenidas en el mismo artículo, debido a que las referencias se habían contabilizado duplicadamente;
- Estudios que contenían otro tipo de análisis de la manipulación de cargas, como el relacionado con el empuje y tracción de cargas;
- Referencias que trataban la patogénesis de condiciones de salud derivadas de la exposición a la manipulación de cargas, las cuales fueron excluidas

de la selección.

El primer criterio se ha definido para afinar el éxito del contenido de la información relevante al objetivo de la investigación, mientras que los dos criterios siguientes se han definido porque no contribuyen en los objetivos de la investigación quedando fuera del alcance del proyecto.

El procedimiento de exclusión se realizó mediante la lectura del título, resumen y palabras clave relacionadas. La selección mediante este procedimiento dio como resultado un conjunto de 324 referencias potenciales para el análisis de la investigación.

Criterio de exclusión	Porcentaje de referencias	Total de referencias excluidas
Intersecciones palabras Lifting y Niosh	65%	1.103
Estudios de otros tipos de manipulación manual de cargas, como empuje y tracción	12%	203
Patogénesis	4%	68

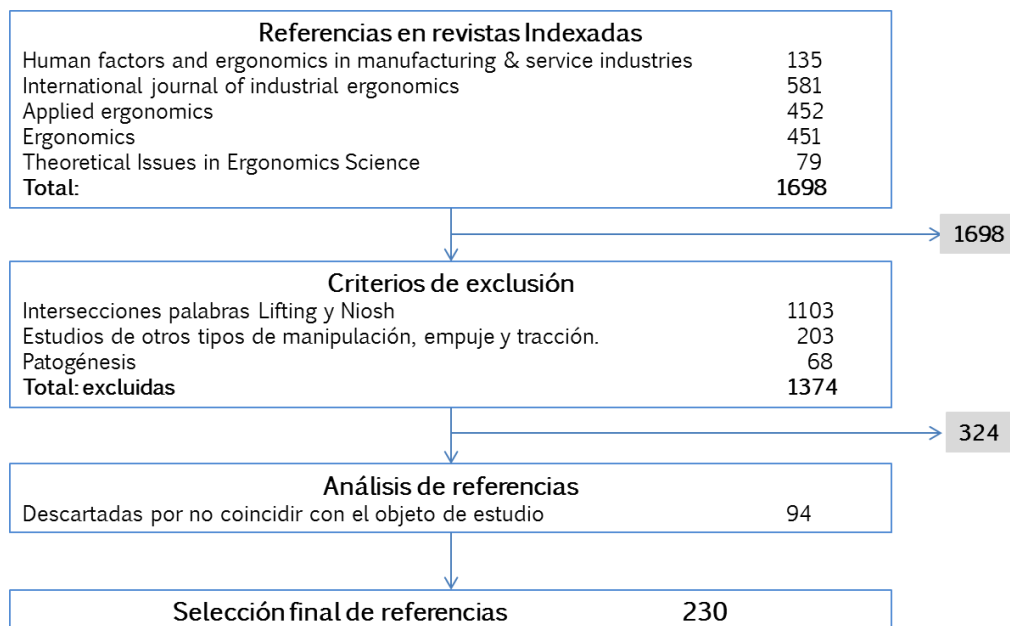
**Tabla 1.2.** Resultados de la aplicación del criterio de exclusión.

### **Análisis de referencias**

Las 324 referencias resultantes se han analizado de forma exhaustiva, descartando 94 de ellas, las cuales tratan aspectos que no aportan información al proyecto de investigación ni al cumplimiento del objeto de la investigación.

### **Resumen cuantitativo**

Los resultados cuantitativos de la aplicación sistemática del procedimiento de búsqueda bibliográfica, esquematizado en fases, son los siguientes:



**Figura 1.7.** Resumen cuantitativo de la aplicación del procedimiento sistemático de búsqueda de referencias.

## Revisión de publicaciones con datos estadísticos

De acuerdo a la revisión de referencias y contenido estadístico para el planteamiento del problema, se ha realizado una búsqueda en bases de datos oficiales, tanto a nivel europeo como del Estado Español.

# Análisis de los levantamientos manuales y su evaluación en las empresas

## Consulta con expertos y delegados de prevención

Para caracterizar la realidad en las empresas y las prácticas habituales sobre la evaluación del riesgo por levantamientos manuales de cargas se ha seguido un proceso inductivo a partir de la recolección y análisis de la valoración de dos grupos poblacionales.

Por un lado, se ha contactado con expertos y profesionales cualificados dedicados a la ergonomía laboral, para las cuales, el análisis del riesgo por levantamientos manuales de cargas en los puestos de trabajo en una o varias empresas es una

de las competencias profesionales que desarrollan. Los objetivos planteados con estos contactos, así como el procedimiento de selección de la muestra, están descritos en detalle en el capítulo 4.

Por otro lado, como estrategia de triangulación de parte de las valoraciones realizadas por los expertos, se han recogido y analizado las valoraciones realizadas por personas trabajadoras designadas como delegados de prevención en las empresas sobre los requerimientos de levantamientos manuales de cargas presentes en su empresa y sobre la práctica de evaluaciones de riesgo que se realizan. Los objetivos planteados con estos contactos, así como el procedimiento de selección de la muestra, están descritos en detalle en el capítulo 5.

### **Análisis estadístico**

En este estudio, todas las variables consideradas son categóricas, cualitativas nominales. Para analizar la relación que puede existir entre pares de variables se ha seguido la siguiente metodología.

En primer lugar, se ha construido la tabla de contingencia entre pares de variables [AGUILERA, 2001].

En segundo lugar, se ha medido la intensidad de la relación estadística mediante el coeficiente de contingencia cuadrática  $\chi^2$ , también llamado test de independencia [GREENWOOD, 1996].

Partiendo de dos variables categóricas, X e Y, con r y k niveles respectivamente, para construir el test se deben calcular dos tipos de frecuencias:

- Las frecuencias observadas a partir de nuestros datos, que las denotaremos por  $O_{ij}$ ;
- Las frecuencias esperadas, que son aquellas que deberían haberse observado si la hipótesis de independencia fuera cierta. Las denotaremos por  $E_{ij}$ .

Con esto, ya es posible construir el test  $\chi^2$ , quedando expresado como sigue:

$$\chi^2 = \sum_{i=1}^r \sum_{j=1}^k \frac{(O_{ij} - E_{ij})^2}{E_{ij}}$$

Con este test se mide la diferencia entre el valor que debiera resultar si las dos variables fuesen independientes y el valor observado. Se decide si este valor es grande o no a través de la distribución asintótica del estadístico, que sabemos que es una distribución Chi-cuadrado con  $(r-1)*(k-1)$  grados de libertad (GL).

En los casos en que se ha encontrado una dependencia significativa, se han utilizado los modelos lineales generalizados para valorar las dependencias más significativas. Los modelos lineales generalizados (conocidos como GLM de sus siglas en inglés), [MCCULLAGH, 1989; MYERS et al., 2010; DOBSON, 2008] son una extensión de los modelos lineales que permiten tratar con distribuciones no normales de los errores y varianzas no constantes, para modelar relaciones no lineales.

En este caso, todas las variables son, o bien binomiales (sí/no) o multinomiales. Como función vínculo, se ha utilizado la logarítmica.

Para las respuestas binomiales, el objetivo al ajustar un modelo de este tipo es conseguir una buena predicción de la probabilidad ( $\pi_i$ ) de una respuesta afirmativa dependiendo del valor de diversas covariables o variables predictoras (X), que de antemano sabemos que están relacionadas con nuestra variable respuesta. Como dicha respuesta sigue una distribución binomial, el modelo logístico a ajustar es:

$$\text{logit}(\pi_{ij}) = \log\left(\frac{\pi_{ij}}{1 - \pi_{ij}}\right) = X_{ij}^T \beta \Rightarrow \pi_{ij} = \frac{e^{X_{ij}^T \beta}}{1 + e^{X_{ij}^T \beta}}$$

Para las respuestas multinomiales, el objetivo de este ajuste es el mismo que el anterior, pero en este caso, la respuesta sigue una distribución multinomial, es decir, hay varias respuestas.

Variable respuesta:  $Y_j$  ( $j=1,\dots,J$ )

Covariables:  $X_i$  ( $i=1,\dots,I$ )

El modelo que se ajusta en este caso requiere fijar una categoría de la variable respuesta como clase de referencia, que en nuestro caso será la primera clase de cada variable, y a partir de aquí se define el siguiente modelo:

$$\text{logit}\left(\frac{\pi_{ij}}{\pi_{il}}\right) = X_{ij}^T \beta \quad j \Rightarrow \pi_{ij} = \frac{e^{X_{ij}^T \beta}}{1 + \sum_{j=2}^J e^{X_{ij}^T \beta}} \quad \pi_{il} = \frac{1}{1 + \sum_{j=2}^J e^{X_{ij}^T \beta}}$$

Tras ajustar debidamente el modelo, se ha utilizado el análisis de la deviance como medida de bondad de ajuste entre los datos observados y los valores ajustados generados por el modelo, es decir, de la variabilidad explicada por el modelo, permitiendo determinar el porcentaje de explicación de cada factor sobre cada parámetro que se está analizando [FARAWAY, 2006; ZUUR et al., 2007].

El análisis de los datos se ha realizado con el programa estadístico R, versión 2.6.2 [IHAKA, 1996], y las gráficas se han realizado con el programa Microsoft Excel®.

## Análisis de los modelos actuales y desarrollo del modelo propuesto

### Análisis de los modelos actuales

Para analizar las capacidades funcionales de los modelos utilizados actualmente e identificar sus limitaciones, se ha utilizado el método deductivo.

La aplicación de esta metodología ha requerido expresar formalmente los modelos actuales, mediante notación de teoría de conjuntos, teoría de sistemas de información y especificación algebraica.

La especificación algebraica proporciona una referencia, matemáticamente consistente, que posibilita la validación de la corrección de cada una de las deducciones.

La base de formalización en teoría de conjuntos se ha referido a [FERREIROS, 2007; LOECKX et al., 1996] para algunas definiciones concretas. Como primitiva se considera la noción de conjunto, dotado de una igualdad o similitud entre sus elementos. La Teoría de Conjuntos presenta problemas relacionados con el tamaño del marco que se está analizando; disponer de un marco de referencia es una premisa de cualquier área de las matemáticas. Por este motivo, como punto de



partida se ha establecido un universo [BORCEUX, 1994], de forma que las operaciones elementales que se realizan con los conjuntos sean internas al propio universo. En nuestro caso, el universo de análisis se considera completo y de naturaleza finita.

Para caracterizar el universo de análisis se ha definido una ontología descriptiva ligera, basada en las entidades establecidas en la literatura para el análisis de levantamientos manuales de cargas, conservando en la mayoría de casos la terminología de acrónimos y abreviaturas de la literatura original anglosajona. En el modelo ontológico definido se han utilizado relaciones taxonómicas (teoría de la clasificación).

Aunque los fundamentos matemáticos utilizados se pueden considerar bastante básicos, para facilitar el entendimiento de los análisis realizados, a continuación se proporciona una definición para dominio, universo y atributo.

Un dominio es un conjunto de valores del mismo tipo. Para el propósito de esta investigación se distinguen dos tipos de dominios: continuo (conjunto infinito de valores reales) y nominal (conjunto finito de valores discretos). El número de valores que lo forman se denota por su dimensión y su función es  $\epsilon()$ .

Se denomina universo de conocimiento al entorno donde se define un determinado problema y viene representado como el producto cartesiano de un conjunto finito de dominios.

Un atributo es la descripción de alguna medida existente en el universo de conocimiento que toma valores en un determinado dominio. El atributo  $i$ -ésimo se representa  $X_i$ , y su dominio, según la clasificación descrita previamente puede ser de dos tipos, continuo o discreto. Si es continuo existe un rango  $[a; b] \in \mathbb{R}$  de valores posibles, y si es discreto existe un conjunto finito de valores posibles.

## **Desarrollo del modelo propuesto**

El desarrollo del modelo propuesto se ha fundamentado en la aplicación de dos instrumentos metodológicos.

En primer lugar, en junio de 2008 se formó una comisión de expertos para discu-

tir y consensuar los criterios de reducción aplicables a este problema. La comisión estaba formada por Enrique Alvarez-Casado, autor de esta investigación, Thomas Waters, principal autor de la Ecuación NIOSH, del centro del NIOSH en Cincinnati, los investigadores Enrico Occhipinti y Daniela Colombini, de la Unità di Ricerca EPM de Milano, y Aquiles Hernandez-Soto, del Centro de Ergonomía Aplicada de Barcelona.

El trabajo de esta comisión duró tres años, durante los cuales se realizaron diversas sesiones de discusión presenciales, que proporcionaron los criterios básicos que, posteriormente han sido desarrollados en este trabajo.

Por otro lado, se aplicó la metodología inductiva a partir del análisis de aplicación del modelo a un caso del sector logístico, principalmente, dirigida al desarrollo del procedimiento de valoración de la calidad de las diferentes modalidades de aplicación del modelo propuesto a casos reales. Los criterios de selección de este tipo de actividad se argumentan con detalle en el capítulo §7, pero principalmente se han derivado de la demostración expuesta en los capítulos §4 y §5 que, en este tipo de actividad, la presencia de alta variabilidad en las tareas de levantamiento manual de cargas es muy frecuente y presentan una especial complejidad en su análisis.

## Glosario

**Altura de agarre:** distancia vertical desde el suelo, o superficie de apoyo de los pies, al punto de agarre; medida en centímetros.

**Ángulo de asimetría:** ángulo formado por las líneas resultantes de las intersecciones del plano sagital y el plano de asimetría con el plano transversal. Si la posición de los pies se modifica durante la secuencia de izado o descenso, los planos de referencia deben determinarse en el instante de la secuencia de la acción en el que se da el máximo grado de giro asimétrico; medido en grados.

**Atributo del levantamiento:** característica que describe con un valor una de las condiciones bajo las cuales se realiza el levantamiento manual de cargas.

**Carga:** se entenderá como carga cualquier objeto susceptible de ser movido.

**Dislocación vertical:** valor absoluto de la diferencia entre las alturas de agarre en el origen y en el destino del levantamiento; representa el máximo recorrido vertical de la carga, sostenido su peso por la persona; medido en centímetros.

**Distancia horizontal:** distancia horizontal desde el punto medio entre ambas manos al centro de masas del cuerpo, normalmente medido como el punto medio entre ambos tobillos si el peso del cuerpo está equi-distribuido; medido en centímetros.

**Elevación o descenso manual:** se dice que un objeto es elevado o descendido mediante fuerza humana cuando se mueve desde su posición inicial hacia arriba o hacia abajo.

**Evaluación de riesgo:** es el proceso dirigido a cuantificar el potencial de daño que comporta un peligro que no haya podido evitarse, obteniendo la información necesaria para adoptar medidas preventivas.

**Factor de riesgo:** característica de la tarea o del puesto de trabajo que puede causar dolor, fatiga o trastornos en el sistema musculoesquelético.

**Frecuencia de levantamientos:** Número de levantamientos de cargas promedio efectuados por una persona en periodo de tiempo determinado, normalmente un minuto.

**Índice de levantamiento:** Número real positivo que representa el nivel de riesgo de la persona trabajadora debido a la exposición analizada.

**Levantamiento manual de cargas:** acción de levantar o descender un objeto mediante fuerza humana para moverlo de una posición inicial a una final.

**Manipulación manual:** cualquier actividad que requiera el empleo de la fuerza humana para elevar, bajar, transportar o, de cualquier modo, mover o inmovilizar cualquier objeto.

**Subtarea de levantamiento:** secuencia de levantamientos manuales de cargas que se realizan ante los mismos requerimientos de peso y posturales.

**Tarea de levantamientos:** secuencia de subtareas de levantamientos que se realiza durante una jornada laboral.

**Tiempo de recuperación de manipulación manual de cargas:** tiempo de trabajo en el que no se realizan tareas de manipulación manual de cargas, ni otras tareas que comportan una sobrecargas significativa a la espalda.

# Análisis de la exposición al levantamiento manual de cargas: Estado de la cuestión

---

## Estrategias políticas relativas al levantamiento manual de cargas

### Limitación del peso máximo permitido

Conscientes del problema que puede comportar el levantamiento de cargas en la población laboral, algunos países han seguido una estrategia política de limitar el peso máximo que un trabajador puede levantar. Evidentemente, el peso de la carga no es el único factor a considerar, pero restringirlo establece al menos una seguridad mínima legal.

Desde el punto de vista histórico, esta estrategia se ha utilizado principalmente para proteger a la población “laboral” más vulnerable: la infantil. En la **tabla 2.1** se han recopilado de archivos legales y de colegas expertos en ergonomía de diversos países, a modo ilustrativo y sin ánimo de ser exhaustivos, las limitaciones sobre el peso máximo permitido para levantar manualmente, establecidas por diferentes países del mundo como leyes o disposiciones legales. Cabe anotar que algunas de estas disposiciones legales, aún siguen vigentes.

En 1962, la Organización Internacional del Trabajo (ILO) publicó una tabla informativa que fijaba el peso máximo a levantar manualmente de forma ocasional (1 vez al día) según el género y el rango de edad (**tabla 2.2**).

Estos límites se justificaron principalmente con el estudio de estadísticas de accidentes y enfermedades profesionales, que señalaban a la movilización manual de materiales como la responsable del incremento de cerca de 3 veces de lesión en la columna, las rodillas y los hombros, de 10 veces en los codos, y de cerca de cinco veces en las caderas.

Según el informe publicado por la OIT en 1988, 62 países del mundo limitaban en su marco legal el peso máximo permitido en actividades de levantamiento y/o transporte de cargas [ILO, 1988].

## Convenio de la Organización Internacional del Trabajo

El 28 de junio de 1967, la Conferencia General de la Organización Internacional del Trabajo adopta el Convenio número 127 relativo al peso máximo permitido para manipular por un trabajador, conocido como el “C127 Convenio sobre el peso máximo, 1967” [ILO, 1967a].

En éste Convenio no se establece un peso máximo permitido pero se establecen los principios generales para garantizar la salud de los trabajadores que deben levantar y transportar cargas. Citando textualmente, en sus Artículos 3 y 4 establece que:

Artículo 3: *“No se deberá exigir ni permitir a un trabajador el transporte manual de carga cuyo peso pueda comprometer su salud o su seguridad.”*

Artículo 4: *“Para la aplicación del principio enunciado en el artículo 3, los Miembros tendrán en cuenta todas las condiciones en que deba ejecutarse el trabajo.”*

Artículo 7, parte 2: *“Cuando se emplee a mujeres y jóvenes trabajadores en el transporte manual de carga, el peso máximo de esta carga deberá ser considerablemente inferior al que se admita para trabajadores adultos de sexo masculino.”*

País	Año de publicación	Edad	Peso máximo (kg)	
			Hombres	Mujeres
Bolivia	--	<16	10	5
		16-20	10	10
Chile	2005	16-18	20	
Colombia	1979	16-18	15	
		<16		8
		>16		12,5
Dinamarca	2005	<18	12	12
Ecuador	--	<16	16	
		16-18	23	
		<18		9
		18-21		12
Egipto	--	12-15	10	7
Francia	1973	14-15	15	8
		16-17	20	10
Grecia	--	<16	5	
		16-18	10	
Hungria	--	14-16	15	
		16-18	20	15
		>18		20
Irlanda	1972	14-16	8	8
		16-18	16	11
		>18		16
Italia	1934	15-17	25	15
		< 15	15	5
		> 17		20
	1967	< 15	10	5
		15-18	20	15
Japón	--	16-18	30	25
México	1934	<16	20	10
		>16		38
Polonia	--	<16	16	10
	2002	16-18	20	14
España	1908	< 16	10	10
	1957	< 16	5	
		< 18		8
		16-18	20	
		18-21		10
		>21		20
URSS	1921			15

**Tabla 2.1.** Peso límite máximo de diferentes países

Edad	Hombres	Mujeres
14 - 16	14,6	9,8
16 - 18	18,5	11,7
18 - 20	22,6	13,7
20 - 35	24,4	14,6
35 - 50	20,6	12,7
> 50	15,6	9,8

**Tabla 2.2.** Peso límite máximo sugerido por la OIT en kilogramos [ILO-CIS, 1962]

Ese mismo día se adopta la Recomendación número 128, complementando el Convenio de peso máximo C127, citada como la “R128 Recomendación del peso máximo, 1967” [ILO, 1967b]. Las limitaciones de peso recomendadas en este documento se detallan en la **tabla 2.3**. En éste documento, se menciona que los Miembros que apliquen esta recomendación deberían considerar:

- Características fisiológicas, condiciones del entorno y la naturaleza del trabajo a realizar;
- Cualquier otra condición que pueda influir la salud y la seguridad de los trabajadores.

Edad	Género	Peso máximo permitido
> 18	Hombres	55 kg
> 18	Mujeres	Considerablemente inferior al que se admite para trabajadores adultos de sexo masculino
< 18	Hombres y mujeres	Considerablemente inferior al que se admite para trabajadores adultos del mismo sexo No se permite el transporte manual de cargas de forma frecuente
< 16	Hombres y mujeres	No permitido el transporte manual de cargas

**Tabla 2.3.** Pesos límite recomendados por la OIT, R128 [ILO, 1967b].

En enero de 1987, 22 países del mundo habían ratificado el Convenio C127 [ILO, 1988]. A día de hoy, según la OIT [ILOLEX, 2011] lo han ratificado 28 países (**tabla 2.4**).



País	Fecha de ratificación
Argelia	12.6.1969
Brasil	21.8.1970
Bulgaria	21.6.1978
Chile	3.11.1972
Costa Rica	16.3.1972
Ecuador	10.3.1969
España	7.6.1969
France	31.5.1973
Guatemala	25.7.1983
Hungría	4.1.1994
India	26.3.2010
Italia	5.5.1971
Líbano	1.6.1977
Lituania	26.9.1994
Luxemburgo	8.4.2008
Madagascar	4.1.1971
Malta	9.6.1988
Nicaragua	1.3.1976
Panamá	19.6.1970
Perú	19.6.2008
Polonia	2.5.1973
Portugal	2.10.1985
Rep. Bolivariana de Venezuela	1.2.1984
Republica de Moldavia	9.12.1997
Rumanía	28.10.1975
Tailandia	26.2.1969
Túnez	14.4.1970
Turquía	13.11.1975

**Tabla 2.4.** Lista de países que han ratificado el Convenio de peso máximo C127 de 1962.

Cabe anotar que la ratificación del Convenio C127 de la OIT no implica aplicar las limitaciones de peso máximo incluidas en la Recomendación R128, sino simplemente considerar en el marco legal el riesgo que puede comportar la manipulación manual de cargas, incluso considerando cuestiones de género.

# La Directiva del Consejo Europeo

En la Unión Europea, con el objetivo de uniformar criterios legales en los diferentes Estados Miembros y promover el desarrollo del marco legal en algunos de ellos, el 29 de mayo de 1990 se publicó la Directiva del Consejo Europeo 90/269/EEC sobre los requerimientos mínimos de salud y seguridad para la manipulación manual de cargas donde hay un riesgo, especialmente de daño a la espalda de los trabajadores [COUNCIL OF EUROPEAN COMMUNITIES, 1990].

En lo relativo al tema tratado en esta tesis, la aportación principal de esta Directiva de Consejo es establecer que, si no es posible evitar la necesidad de manipular manualmente cargas por los trabajadores, el empresario debería evaluar las condiciones de salud y seguridad en el tipo de trabajo considerado, teniendo en cuenta los factores relacionados con los pesos, el esfuerzo físico requerido, las características del entorno de trabajo y los requerimientos de la actividad.

En este documento legal, quedaron pendientes de resolver cuestiones de gran importancia, como la metodología para evaluar el riesgo en situaciones variables [GRIECO et al., 1997].

Algunos países integraron esta Directiva de Consejo en su marco legal, prácticamente como una traducción del texto completo a su idioma oficial, como Austria, Finlandia, Alemania, Grecia, Luxemburgo, Países Bajos y Suecia.

En cambio, otros países incluyeron algunos criterios técnicos relacionados con el riesgo por levantamiento de cargas. Uno de estos criterios fue limitar el peso máximo a levantar por trabajadores hombres y mujeres (**tabla 2.5**).

Considerando que en todos los Estados Miembros de la Unión Europea existe la obligación legal de evaluar el riesgo de cualquier trabajo que comporte manipulación manual de cargas, uno de los criterios técnicos más importantes es el dirigido a identificar la manipulación manual de cargas.

País	Año	Peso máximo (kg)	
		Hombres	Mujeres
Republica Checa	2010	50	20
Dinamarca	2005	30	30
Estonia	2001	40	20
Francia	2008	55	25
Italia	2008	25	20
Polonia	2002	50	20
España	1997	40	15
Reino Unido	1992	25	16

**Tabla 2.5.** Limitaciones del peso máximo según género, como resultado de la aplicación de la Directiva de Consejo.

En este sentido, sólo algunos países han definido un criterio técnico legal para identificar el peligro por levantamiento de cargas, y por tanto, la necesidad de evaluar el riesgo. Este criterio se basa en la presencia de levantamientos de un peso mínimo, a partir del cual, la condición de trabajo puede ser peligrosa.

En Dinamarca, España e Italia, el peso mínimo levantado que puede ser peligroso y requiere evaluar su riesgo es de 3 kg; en Estonia se ha definido de 5 kg; y en Reino Unido, 3 kg para mujeres y 5 kg para hombres. En general, en pocos países del mundo se ha establecido este criterio técnico; como ejemplo se mencionan algunos de ellos: Chile y Venezuela, 3 kg; Argentina, 2 kg.

En cualquier caso, queda patente el interés y la necesidad en Europa de disponer de un procedimiento de evaluación del riesgo por levantamiento manual de cargas lo suficientemente versátil para poderlo aplicar a cualquier tipo de trabajo.

## La primera ecuación NIOSH

### Descripción de la ecuación

En 1981, el National Institute for Occupational Safety and Health (NIOSH) reconoció el problema creciente de los trastornos en la espalda relacionados con el tra-

bajo y publicó el Work Practices Guide for Manual Lifting [NIOSH, 1981].

Este documento se elaboró en el periodo 1979-1980, con la contribución de expertos reconocidos de Estados Unidos, como los profesores Ayoub, Chaffin, Herrin, Drury y Snook.

A partir de una exhaustiva revisión bibliográfica sobre factores epidemiológicos, biomecánicos, fisiológicos y psicofísicos, se propuso un procedimiento para el cálculo del peso límite recomendado en operaciones de levantamiento de cargas. Para considerar las diferencias poblacionales en la capacidad de realizar este tipo de trabajo se definieron dos tipos de límites: el Límite Máximo Permitido y el Límite de Acción.

El Límite Máximo Permitido (MPL) representa el valor por encima del cual:

- La tasa de prevalencia y de gravedad del daño musculoesquelético aumentan de manera significativa.
- La fuerza de compresión biomecánica sobre el disco intervertebral L5-S1 no es tolerable para la mayoría de la población, con un valor superior a 650 kg.
- El metabolismo supera las 5 kcal/minuto.
- La fuerza muscular necesaria sólo la puede ejercer el 25% de los hombres y menos del 1% de las mujeres.

El Límite de Acción (AL) representa el valor para el que:

- El aumento de la tasa de prevalencia y de gravedad del daño musculoesquelético es moderado en la población expuesta;
- se produce una fuerza de compresión de 350 kg o 3,4 kN sobre el disco L5-S1, la cual es tolerable para la mayor parte de los trabajadores sanos de mediana edad;
- requiere una demanda metabólica de 3,5 kcal/minuto o menos, en la mayor parte de la población laboral; y
- la fuerza muscular necesaria la puede ejercer más del 99% de los hombres y más del 75% de las mujeres.

El Comité del NIOSH definió 5 variables o factores de riesgo que modifican la condición de riesgo en el levantamiento de cargas:

- la posición horizontal y vertical de las manos al inicio del levantamiento (respecto al cuerpo y al suelo correspondientemente),
- el desplazamiento vertical entre el punto de agarre al inicio y al final del levantamiento,
- la frecuencia de levantamientos y la duración de la exposición a las tareas de levantamiento manual de cargas en el turno.

Las fórmulas propuestas para el cálculo de estos dos límites plasman la fuerte interrelación que existe entre los diversos factores de riesgo.

$$AL = LC \times HM \times VM \times DM \times FM$$

Siendo,

AL: Action limit (kg);

LC = 40 kg;

HM = 15 / H, siendo H la posición horizontal de las manos al inicio del levantamiento respecto al punto medio de los tobillos; en el caso que la carga sea frágil o requiera precisión al depositarla se tomará la distancia mayor medida al origen y al destino.

VM = 1 - 0,004 x abs(V-75), siendo V la altura de las manos al inicio del levantamiento respecto al suelo; en el caso que la carga sea frágil o requiera precisión al depositarla se tomará la distancia mayor medida al origen y al destino.

DM = 0,7 + 7,5/D, siendo D la diferencia vertical entre el punto de agarre de la carga al inicio y al final del levantamiento;

FM = 1 - F/Fmax, siendo F la frecuencia media de levantamientos por minuto y Fmax la frecuencia media tolerable que se obtiene mediante la **tabla 2.6**.

Duración	Fmax	V > 75 cm	V < 75 cm
	1 hora	18	15
8 horas		15	12

**Tabla 2.6.** Valores de Fmax

$$\text{MPL} = 3 \times \text{AL}$$

Siendo,

MPL: Límite Máximo Permitido (kg);

AL: Límite de Acción (kg)

Se presupone que estas variables tienen los siguientes límites:

- H comprendida entre 15 y 80 cm, considerando que una carga a distancia superior a 80 cm es difícil de agarrar para una parte significativa de la población.
- V comprendida entre 0 y 175 cm.
- D comprendida entre 25 cm y (200-V); para valores inferiores a 25 cm se tomará el valor 25.
- F comprendida entre 0,2 (un levantamiento cada 5 minutos) y Fmax. Para valores de frecuencia menores a 1 cada 5 minutos, se tomará  $F/F_{\text{max}} = 0$  (o  $FM = 1$ ).

## Interpretación

Comparando el peso levantado con los límites calculados, se propuso la siguiente interpretación según 3 categorías:

- (1) Peso levantado mayor que MPL: Inaceptable. Se requiere un control administrativo y de ingeniería.
- (2) Peso levantado entre AL y MPL: Inaceptable para una parte de la población trabajadora. Se debería considerar inaceptable sin un control adminis-

trativo y de ingeniería adecuados.

- (3) Peso levantado menor que AL: Aceptable. Comportaría un riesgo mínimo para la mayor parte de la población trabajadora.

En esa publicación, se usó el término “control administrativo” para indicar una selección y formación adecuadas de los trabajadores que realizarán este tipo de tareas.

## **Propuestas para el análisis de tareas variables**

En ese documento, los autores exponen diversas propuestas sobre qué criterios aplicar para analizar las tareas de levantamiento con variabilidad en la posición de las cargas.

### **Levantamientos de pesos constantes ubicados en alturas variables**

Un buen ejemplo de levantamiento de objetos desde alturas variables sería el levantamiento de objetos que están apilados uno encima del otro.

En este caso, cada levantamiento a una altura determinada se considera como una subtarea, y se calculan los límites para cada subtarea por separado, considerando la frecuencia de levantamiento a esa altura específica (frecuencia parcial).

La duración se considera el tiempo total dedicado a operaciones de levantamiento en el turno (si es más de 1 hora o no).

Para valorar la exposición total a la tarea, las variables de frecuencia, altura y dislocación se consideran de la siguiente forma:

- F: Tomar la frecuencia total de levantamientos (suma de las frecuencias parciales)
- V y D: Tomar el valor de la media aritmética ponderada por la contribución de la frecuencia de cada subtarea sobre la frecuencia total.

La valoración final del trabajo se realiza comparando el peso de la carga con todos los límites obtenidos, tanto los límites asociados a las subtareas como los índices globales.

## Levantamientos de pesos y distancias variables

Un buen ejemplo sería el caso de puestos de trabajo en almacenes o recepción de mercancías, donde se manipulan objetos con frecuencias, pesos y formas variables. En este caso, cada subtarea representa una geometría (distancias H y V) constante. Por lo tanto, en cada subtarea se levantan objetos de peso diferente.

El enfoque propuesto consiste en calcular los límites para cada subtarea considerando la frecuencia parcial de levantamientos. Para valorar la exposición global, se calculan los límites utilizando las siguientes variables:

- F: La frecuencia total de levantamientos
- H, V y D: los valores de las medias aritméticas ponderadas por la contribución de la frecuencia de cada subtarea sobre la frecuencia total.

La valoración final del puesto de trabajo se realizará, por un lado, comparando los límites obtenidos para cada subtarea con el peso medio y el peso máximo levantados en esa subtarea; y por otro lado, comparando los límites obtenidos en la exposición global con el peso medio levantado considerando todas las subtareas.

# La ecuación NIOSH revisada

## Desarrollo de la ecuación

La ecuación de 1981 tenía un alcance de aplicación limitado a pocas tipologías de tareas de levantamiento de cargas, principalmente tareas de levantamiento sagitales. Aun así, generó un alto interés e impacto en los profesionales de la prevención de riesgos y salud laboral.

Por este motivo, en 1985 el NIOSH configuró un panel de expertos con la misión de revisar el procedimiento de 1981 y aumentar el alcance de aplicación a otras situaciones reales de levantamiento de cargas que se encuentran frecuentemente en los puestos de trabajo. Los participantes en este panel de expertos fueron: M.



M. Ayoub, Donald B. Chaffin, Colin G. Drury, Arun Garg, Suzanne Rodgeres, Vern Putz-Anderson y Thomas R. Waters.

Con este objetivo, el grupo de trabajo realizó una revisión exhaustiva de los avances en la literatura científica sobre los aspectos fisiológicos, biomecánicos, psicofísicos y epidemiológicos del levantamiento manual de cargas. El resultado de esta revisión fue un documento publicado en el año 1991 [NATIONAL TECHNICAL INFORMATION SERVICE, 1991].

Ese mismo año se presentó una revisión de la ecuación NIOSH de 1981 en un congreso de Michigan [PUTZ-ANDERSON, WATERS, 1991], la cual se conoce como la Ecuación NIOSH Revisada.

En 1993 se publicó esta nueva ecuación en una revista científica [WATERS et al., 1993], donde se describió la justificación racional de los criterios seleccionados y de los valores de la ecuación.

Finalmente, en 1994, con un objetivo más didáctico, NIOSH publicó el Manual de Aplicación [WATERS et al., 1994], explicando cómo aplicar la nueva ecuación a través de la resolución paso a paso de diversos casos de tareas de levantamiento de cargas.

Aunque se ha utilizado en algún estudio para analizar las tareas de levantamiento manual de personas [WATERS, 2007], requerimiento muy presente en el ámbito sanitario y socio-sanitario para movilizar personas con una capacidad motriz limitada, la metodología de la ecuación NIOSH ha sido desarrollada para el análisis de levantamientos manuales de cargas. Para el análisis de criterios y métodos relativos a la manipulación manual de personas se recomienda la lectura del último trabajo de ISO [ISO, 2012a].

## **Actualizaciones en los criterios**

Debido a que cada tipo de tarea de levantamiento de cargas impone diferentes requerimientos biomecánicos y fisiológicos al trabajador, se usaron diversos criterios para construir la ecuación. Los aspectos biomecánicos predominan en tareas de levantamientos poco frecuentes, el criterio fisiológico limita el estrés metabólico y la fatiga en tareas de levantamiento repetitivas, y el criterio psicofísico limita la

carga de trabajo basado en la percepción de la capacidad para levantar cargas de los trabajadores en todas la tareas con frecuencia menor a 6 levantamientos por minuto y en diferentes rangos de altura vertical del levantamiento.

### **Criterio biomecánico**

Se conserva el criterio biomecánico de la ecuación de 1981 de fuerza máxima de compresión de la vértebra L5/S1 igual a 3,4 kN.

### **Criterio fisiológico**

En comparación con la ecuación de 1981, se redujo el valor de la capacidad anaeróbica establecido en 10,5 kcal/min. Para calcular la reducción de este límite se consideró la diferencia entre los levantamientos que involucran el cuerpo entero, es decir, la altura de agarre de la carga respecto al suelo es menor a 75 cm; y los levantamientos que involucran principalmente las extremidades superiores ( $V > 75$  cm). Para  $V < 75$  cm, el límite se estableció en 9,5 kcal/min y para  $V > 75$  cm se aplicó una reducción adicional del 30%.

Adicionalmente, se consideró la influencia de la duración de las tareas de levantamiento durante la jornada laboral, estableciendo los siguientes límites:

- Duración igual o menor a 1 h: valor límite igual al 50% de 9,5 kcal/min
- Duración entre 1 y 2 horas: valor límite igual al 40% de 9,5 kcal/min
- Duración entre 2 y 8 horas: valor límite igual al 33% de 9,5 kcal/min

El límite resultante del gasto energético, según la altura (V) y la duración (D), se encuentra en la **tabla 2.7**.

<b>Kcal/min</b>	<b>V &lt; 75 cm</b>	<b>V &gt; 75 cm</b>
≤ 1 hora	4,7	3,3
1 - 2 horas	3,7	2,7
2 - 8 horas	3,1	2,2

**Tabla 2.7.** Valores límite del gasto energético considerados en la ecuación NIOSH revisada

## Criterio psicofísico

El criterio psicofísico seleccionado para la ecuación asegura que la demanda del trabajo no exceda la capacidad máxima del 99% de la población trabajadora masculina y del 75% de la población trabajadora femenina (prácticamente equivalente al 90% de una población compuesta de 50% hombres y 50% mujeres).

## Actualizaciones en la ecuación

Las principales actualizaciones de la Ecuación NIOSH Revisada de 1991 respecto a la de 1981 son las siguientes:

- Se ha corregido el valor mínimo de la distancia horizontal H, de 15 cm a 25 cm, reflejando la distancia mínima más habitual sin que interfiera frontalmente con el cuerpo;
- Se reduce la masa de referencia de 40 a 23 kg, debido al incremento de la distancia horizontal mínima y a la actualización del límite máximo del 75% de las mujeres trabajadoras. Esto es muy similar al peso límite establecido por ILO en 1962 (**tabla 2.8**), 23 kg, en condiciones ideales cuando todos los factores multiplicadores son igual a 1;
- El valor del multiplicador de frecuencia, en vez de calcularse mediante una fórmula, se obtiene de una tabla dependiendo de la duración de la tarea, la frecuencia de levantamientos y la altura de agarre. La tabla del multiplicador de frecuencia se generó a partir de criterios psicofísicos y fisiológicos, tal y como se describe en [WATERS et al., 1993].
- Esta combinación de información se obtuvo principalmente a partir de los criterios psicofísicos para frecuencias menores a 4 levantamientos por minuto, y de los criterios fisiológicos para frecuencias superiores a 4 levantamientos por minuto;
- Se ajusta el multiplicador de la altura vertical para reducir el peso recomendado un 22,5% cuando la carga está sobre el nivel del suelo ( $V=0\text{cm}$ ) o a la altura de los hombros ( $V=150\text{cm}$ ), en vez de la reducción del 30% de la ecuación original.

- Se ajusta la reducción máxima sobre el peso recomendado del multiplicador de dislocación vertical, de un 26% en la ecuación original a un 15% en la ecuación revisada.
- Y finalmente, se incorporan dos nuevos factores multiplicadores para caracterizar la influencia de cargas levantadas fuera del plano sagital (multiplicador de asimetría: AM) y la calidad del agarre (multiplicador de agarre: CM) sobre la capacidad máxima aceptable de levantamiento de cargas.

En la **tabla 2.8** se esquematizan las principales diferencias entre la ecuación de 1981 y la ecuación revisada de 1991.

	<b>Ecuación de 1981</b>	<b>Ecuación de 1991</b>
<b>LC</b>	40 kg	23 kg
<b>HM</b>	15 / H	25 / H
<b>VM</b>	$1 - 0,004 \times \text{abs}(V-75)$	$1 - 0,003 \times \text{abs}(V-75)$
<b>DM</b>	$0,7 + 7,5/D$	$0,82 + 4,5/D$
<b>FM</b>	$1 - F/F_{\text{max}}$	Tabla 4.4
<b>AM</b>	-	$1 - 0,0032 \times A$
<b>CM</b>	-	1; 0,95 o 0,9

**Tabla 2.8.** Comparación de los factores multiplicadores en la ecuación original (1981) y la ecuación revisada (1991)

En la ecuación revisada, sólo se presenta un límite de peso, el Peso Límite Recomendado (RWL), y la fórmula para su cálculo con todos los factores multiplicadores presentados queda de la siguiente forma:

$$\text{RWL} = \text{LC} \times \text{HM} \times \text{VM} \times \text{DM} \times \text{AM} \times \text{FM} \times \text{CM}$$

Para la interpretación del resultado de aplicar esta ecuación, se definió un índice de riesgo llamado Índice de Levantamiento (LI).

$$\text{LI} = L / \text{RWL}$$

Donde L (Peso de la Carga) es el peso del objeto levantado.

Entendiendo que para valores de LI menores a 1 se protege como mínimo al

99% de la población trabajadora masculina y al 75% de la femenina.

Para valores de LI superiores a 1 ya no se recomiendan medidas administrativas orientadas principalmente a una selección adecuada del personal, como se hacía en 1981. En este caso, las medidas deben ser organizativas, para reducir el tiempo de exposición y/o la frecuencia, y de ingeniería, para mejorar las posturas y movimientos requeridos.

Cuando  $LI > 1$ , las tareas comportan un riesgo significativo de dolor en la zona baja de la espalda para una fracción de la población laboral. Algunos miembros del comité de 1991 creen que la selección de los trabajadores a partir de estudios de investigación, observaciones empíricas o consideraciones teóricas, puede permitir una identificación precisa de los trabajadores que pueden realizar las tareas con un  $LI > 1$  sin un riesgo significativo. Sin embargo, estos miembros están de acuerdo en que muchos trabajadores tendrán un riesgo elevado si  $LI > 3$ .

## Propuesta para el análisis de tareas compuestas

El procedimiento propuesto en 1981 para analizar trabajos de levantamiento multi-tareas estaba basado en medias aritméticas ponderadas, enmascarando los efectos de algún tipo de levantamiento peligroso, y por tanto, podía subestimar el riesgo por levantamiento de cargas en muchos casos [WATERS, 1991].

En la ecuación revisada se realizó una propuesta nueva basada en el cálculo del Índice de Levantamiento Compuesto (CLI) para estimar el riesgo compuesto de múltiples tareas de levantamiento [WATERS et al., 1994].

Este nuevo método se fundamenta en las siguientes asunciones:

- Realizar tareas de levantamiento múltiples incrementa la exigencia física y metabólica.
- El incremento depende de las características de las tareas adicionales que se realizan.
- El incremento debido a la realización de una o más tareas de levantamiento es independiente del riesgo asociado a las tareas ya realizadas.

# Validación de la metodología y nuevas propuestas

La publicación de esta ecuación ha tenido un gran impacto en los profesionales de la prevención de riesgos laborales y en la comunidad científica. Desde su publicación, se han realizado numerosos estudios y publicaciones relacionados con la ecuación.

Los estudios realizados se han clasificado en tres niveles de validación (de menor a mayor grado de validación). A continuación se presentan dichos estudios y su aplicación al método de cálculo del Índice de Levantamiento (LI) y el Índice de Levantamiento Compuesto (CLI).

## Validación de los criterios

Este procedimiento de evaluación del riesgo presenta una sólida base en los criterios utilizados basados en la literatura científica, en el procedimiento para medir y valorar cada uno de los factores de riesgo y en su utilidad para el diseño de las intervenciones.

A continuación se referencian algunos de los trabajos publicados, según el tema tratado.

### El atributo peso de la carga

Evidentemente, el peso del objeto levantado es uno de los parámetros más importantes, no sólo por la clara influencia en los criterios mecánicos y fisiológicos, sino también, tal y como se señala en diversos estudios [GENAIDY et al., 2000] [YEUNG et al., 2001], es el parámetro con mayor efecto sobre el esfuerzo percibido y el riesgo percibido por los trabajadores.

De la valoración del análisis realizado a 16.250 condiciones de levantamiento por expertos en ergonomía, se produjo un absoluto consenso en señalar el peso como la variable que produce un efecto mayor sobre el esfuerzo asociado a las

tareas de levantamiento manual de cargas [YEUNG et al., 2002]. Aunque se obtuvo que el peso era el parámetro que más influía, linealmente, en el esfuerzo percibido (casi el doble que el resto de parámetros), todos los parámetros de la ecuación NIOSH revisada incrementaron significativamente el esfuerzo percibido [YEUNG et al., 2003].

Pero cabe considerar que la relación del peso con el nivel de exigencia no es lineal, porque la reducción de peso puede inducir a un incremento de la velocidad sagital y por tanto, no impactar en una reducción de la carga en la columna [MARRAS, DAVIS, 2000].

### **El atributo altura de agarre de la carga**

Recordemos que la Ecuación NIOSH Revisada considera un dominio de la variable V comprendido entre 0 y 175cm. Según el análisis realizado en 17.562 levantamientos realizados en 2.442 empresas de Estados Unidos [CIRIELLO et al., 1999], el dominio considerado en la ecuación parece aceptable, teniendo que más del 60% de los levantamientos se realizan desde una altura comprendida entre 50 y 125 cm; entorno al 0,3% superan los 175 cm.

Por otro lado, parece clara la influencia del atributo V sobre la sobrecarga biomecánica de la columna. En el estudio realizado con albañiles en Holanda en tarea de levantamiento de bloques de diversos pesos [FABER et al., 2009], se demostró que optimizando la altura de agarre en el levantamiento se puede llegar a obtener una reducción en la compresión de la columna equivalente a reducir 10kg el peso de la carga.

Incluso, se ha demostrado la influencia de este parámetro, independientemente del peso levantado, sobre las fuerzas y momentos generados en la columna, analizando en laboratorio levantamientos de diferentes pesos a 4 alturas distintas [HOOZEMANS, et al. 2008].

Cierto que se encuentra algún estudio piloto que se cuestiona la valoración de este atributo en la Ecuación NIOSH, como el estudio realizado con 10 personas en laboratorio [LAVENDER et al., 2003], donde se sugiere que la ecuación NIOSH revisada subestima el factor V, pero únicamente para valores bajos, es decir, para levantamientos de cargas ubicadas cerca del suelo.

## **El atributo distancia horizontal**

Una limitación de la valoración de este atributo del levantamiento es la distancia máxima admisible (63cm), a partir de la cual, se considera que una condición crítica por sí sola. Se ha encontrado que aproximadamente el 10% de los levantamientos analizados (1063 casos) supera los 63 cm de límite considerados en la ecuación NIOSH [DEMPSEY, 2003].

Es evidente la influencia sobre el valor de este atributo que tienen otros atributos, como la altura de agarre y el tamaño y forma del objeto levantado [POTVIN, BENT, 1997] [ELFEITURI, TABOUN, 2002].

También depende de la ubicación inicial de la carga. Se ha demostrado que, cuando la persona está familiarizada con la tarea de levantamiento, antes de realizar el levantamiento, suele acercarse la carga al cuerpo, principalmente cuando las cargas están ubicadas a gran distancia del cuerpo, y por tanto, el valor del atributo distancia horizontal será menor. En cambio, las cargas ubicadas en posiciones más cercanas, se suelen levantar sin minimizar primero la distancia horizontal al cuerpo [FABER et al., 2011]. Por tanto, parece imprescindible medir su valor en cada caso, tal y como propone la Ecuación NIOSH.

## **El atributo asimetría**

Algunos estudios sobre levantamientos de cargas han encontrado que la velocidad del levantamiento y el peso levantado tienen un efecto directo sobre los momentos generados en la columna [HALL, 1985] [LINDBECK, ARBORELIUS, 1991] [TSUANG et al., 1992] [LAVENDER et al., 1999] [LIN et al., 1999]. Esto puede sugerir que la magnitud del peso levantado y la velocidad con la que se realiza el levantamiento interactúan con la asimetría de forma que la carga biomecánica resultante debido a la asimetría no sea lineal, y por tanto, que el multiplicador utilizado en la ecuación NIOSH con un comportamiento lineal no sea un modelo adecuado para valorar este parámetro.

Sin embargo, en un estudio reciente [LAVENDER et al., 2009], se analizaron las fuerzas de compresión y los momentos triaxiales generados en la columna por levantamientos realizados con diferentes valores de asimetría y dos velocidades predeterminadas de pesos igual al peso límite recomendado y a tres veces el



peso límite recomendado; como resultados se obtuvo que las exigencias biomecánicas eran significativamente dependientes con el ángulo de asimetría: momentos de flexión ( $p<0,01$ ), momentos de inclinación lateral ( $p<0,001$ ), momentos de torsión ( $p<0,01$ ) y fuerzas de compresión ( $p<0,01$ ), concluyendo que el multiplicador de asimetría de la ecuación NIOSH valora adecuadamente la exigencia del trabajo.

Por otro lado, el multiplicador de asimetría reduce aproximadamente un 10% el peso límite recomendado cada 30°. Esta influencia del factor de asimetría ha sido confirmada por diversos autores [HAN et al., 2005], aunque algunos autores también plantean el uso del ángulo de la tarea, en vez del de asimetría de la persona.

### **Medición de atributos y errores**

La medición de los atributos que caracterizan un levantamiento puede ser una fuente importante de error que altere la utilidad de la metodología. Esta problemática ha sido abordada en diversos estudios.

En [WATERS et al., 1998] se encontró que los máximos errores en la medición manual de V, H y A en posturas asimétricas de levantamiento de cargas de 27 personas fue 10,5 cm, 7,4 cm y 17°, respectivamente.

En el estudio realizado por Dempsey [DEMPSEY et al., 2001], se encontró que los errores absolutos medios entre los valores medidos y los valores de referencia de V, H y A en 5 tareas de levantamiento de cargas diferentes eran 8,5cm, 7,8cm y 10°, respectivamente.

La tolerancia al error del atributo A se ha considerado en 15° [WATERS et al. 1999]). Una variación de 15° en el atributo A provoca un error del 5% en el cálculo de LI [WATERS, PUTZ-ANDERSON, 1993].

De todas formas, reconociendo las dificultades de medición de algunos de los parámetros, especialmente la H y la A, se ha propuesto un procedimiento práctico para medir estos parámetros en condiciones reales de trabajo, a partir de utensilios sencillos como lámina de papel, bolígrafo, cinta métrica y plomada [RIBERIRO, TEIXEIRA, 2009].

En los estudios de Dempsey y de Waters, se indica que para medir de forma precisa los parámetros de la ecuación RNLE es necesario disponer de una formación adecuada y dedicar un tiempo suficiente para realizar las mediciones [WATERS et al., 1998] [DEMPSEY, 2002].

Recientemente, se ha propuesto como técnica alternativa para valorar los parámetros posturales de la ecuación RNLE el registro fotográfico y videográfico de la actividad y posterior simulación humana de las posturas [LU et al., 2011] [WATERS et al., 2011]. El principal valor de esta técnica respecto a la simulación mediante humanoides es el menor tiempo requerido, siendo necesario de media un 10% del tiempo requerido en la simulación con humanoides [LIU et al., 1997]. Los errores medios máximos encontrados en la determinación de los parámetros V, H y A con esta técnica fueron 5 cm, 5,7 cm y 27,7°, respectivamente. Aunque el error cometido en los parámetros V y H es menor que con las mediciones manuales, se reconoce que las diferencias antropométricas entre los simuladores y los trabajadores que se simulan pueden afectar la precisión de los resultados de la simulación.

Pero no sólo es un problema de medición, también se pueden presentar problemas en el cálculo posterior al aplicar la ecuación. El cálculo del LI de forma manual puede comportar errores. En un estudio realizado mediante ejercicios de evaluación a un grupo de 78 estudiantes, tras recibir la formación en el método, se obtuvieron diversos errores frecuentes, como errores aritméticos, confusión del parámetro H del origen con el del destino, obtención incorrecta del factor frecuencia en la tabla de valores o incluso, aplicación del valor medido de la variable en la fórmula en vez del valor de su multiplicador [COLE, MCGLOTHLIN, 2009].

### **Otros factores de riesgo y condiciones de trabajo**

En los últimos años se ha realizado mucho esfuerzo en investigar la influencia de otros factores de riesgo sobre la exigencia de los levantamientos manuales de cargas.

Uno de los temas más estudiado es la influencia de la técnica utilizada para realizar el levantamiento manual de la carga, y qué factores determinan la técnica utilizada.

Por ejemplo, recientemente, se ha realizado un estudio sobre las diferencias en la técnica de levantamiento de cargas utilizada según el género del trabajador [SADLER et al., 2011]. Se analizaron los datos cinemáticos tridimensionales de las rodillas, la cadera, la columna lumbar y la columna torácica de 15 hombres y 15 mujeres en dos situaciones de levantamiento de cargas diferentes. Como resultado no se obtuvo una diferencia significativa en la técnica de levantamiento utilizada según el género.

La influencia de la experiencia ha sido otro factor largamente estudiado. Aunque existe una falta de consenso sobre la mejor técnica para realizar levantamientos de cargas [AUTHIER, LORTIE, 1993] y se ha demostrado con estudios de campo que los trabajadores normalmente aplican técnicas diferentes a las técnicas recomendadas [KUORINKA et al., 1994] [BARIL-GINGRAS, LORTIE, 1995], hay muchos estudios sobre la influencia del factor experiencia sobre la sobrecarga biomecánica que comporta el levantamiento de cargas.

Los estudios realizados hasta la fecha muestran resultados contradictorios respecto a la influencia de la experiencia en la técnica de levantamiento manual de cargas.

Mientras que algunos investigadores sugieren que los trabajadores experimentados y los no experimentados tienen una respuesta similar al peso máximo aceptable en tareas de levantamiento variables [GARG, SAXENA, 1979] [MITAL, MANIVASAGAN, 1983], otros autores concluyen que la técnica de levantamiento utilizada por personal experimentado es significativamente diferente a la utilizada por personal no experimentado [AUTHIER et al., 1996] [GAGNON et al., 1996] [HODDER et al., 2010], obteniendo una menor carga biomecánica en la columna [MARRAS et al., 2006], una menor actividad de los músculos dorso-lumbares [KEIR, MACDONELL, 2004] [HODDER et al., 2010], una mayor aceptación psicofísica a pesos superiores [MITAL, 1987] y un mayor límite subjetivo de ausencia de confort [PARAKKAT et al., 2007].

Mientras que estudiando la dinámica de la actividad, se ha encontrado que los trabajadores experimentados realizan una menor flexión de rodillas para levantar cargas ubicadas sobre el suelo, como una estrategia de conservación energética [GAGNON et al., 1996], recientemente [CHEN et al., 2011], estudiando la estática de la actividad, se encontró que los trabajadores experimentados flexionan más las rodillas y reducen la distancia horizontal del agarre al cuerpo, argumentando

que este hecho es debido a una mayor consciencia preventiva.

Una última publicación, estudiando las diferencias posturales y de movimientos al agarrar y levantar una caja con las seis caras libres e iguales [OLIVEIRA et al., 2012], pocas diferencias se encontraron entre las personas con experiencia y las que no la tienen (estudiantes); únicamente, se encontró diferencia en los movimientos de extensión de la muñeca, realizando una mayor amplitud de movimiento de extensión las personas con experiencia, tanto para depositar la caja sobre una superficie alta como sobre una superficie baja.

Aunque en se haya encontrado en muchos casos que existen diferencias posturales entre las personas con experiencia y las que no la tienen, como menor flexión lumbar y mayor flexión de las rodillas [PLAMONDON et al., 2010], no siempre se encuentran diferencias significativas en los picos de compresión lumbar [PLAMONDON et al., 2012].

Por tanto, todo y el esfuerzo de investigación realizado en los últimos años, se puede concluir que a día de hoy, la influencia del factor experiencia no está clara.

Respecto a la velocidad y aceleración en el movimiento de levantamiento, algunos estudios sugieren la necesidad de incorporar otro factor corrector en la ecuación que valore los cambios de aceleración durante el levantamiento [DEMPSEY, 2002] [ABDALLAH et al., 2005], dado que ese parámetro, especialmente para los casos en los que se realiza el levantamiento de cargas con movimientos rápidos, incrementa la exigencia mecánica de la columna. Aunque, este parámetro tiene menor influencia cuanto mayor sea el peso del objeto levantado, sobre todo para valores de compresión superiores a 300 N en las rodillas [LAVERNDER et al., 2003].

Otro factor analizado es el hecho que la carga a levantar esté en movimiento con una velocidad horizontal; esta condición puede incrementar la carga biomecánica en la columna [DAI et al., 2010]. Esta circunstancia se puede dar, por ejemplo, en el entorno industrial, cuando las cargas llegan a la posición del trabajador deslizándose sobre un tapiz de rodillos.

Otros estudios se han dirigido a analizar la influencia de características de la carga [HONSA et al., 1998] o análisis de interacción entre diversos factores [MAITI, BAGCHI, 2006].

Pero en resumen, se puede afirmar que la mayoría de los estudios confirman la idoneidad de los factores de la ecuación, pero algunos han notado limitaciones en la ecuación, especialmente para tareas de levantamiento de cargas de alta variabilidad. Algunos análisis de estos problemas fueron realizados por [MITAL, RAMAKRISHNAN, 1999] y [DEMPSEY, 1999], y todos ellos concluyeron que, por un lado, es necesario disponer de una adecuada formación para aplicar esta metodología, y en segundo lugar que, es necesario desarrollar nuevas propuestas para analizar tareas de levantamiento manual de cargas variables.

### **Validación de la aplicabilidad**

Las metodologías de estudio de este tipo de validación van dirigidas principalmente a asegurar que el resultado obtenido de aplicar el método de evaluación a una situación de trabajo determinada, no dependa de otros factores, como variación en el analista o en el instante de evaluación.

En este sentido, se han realizado varios estudios sobre la precisión obtenida en las evaluaciones de riesgo por diferentes evaluadores: [WATERS, BARON, KEMMLERT, 1998], [DEMPSEY, 2001, 2002], [SALEEM et al., 2003], [RIBEIRO, REMOR, 2009].

La mayoría de estos estudios muestran una validez aceptable con una alta precisión obtenida y baja variabilidad. En todos los casos se remarca la importancia de recibir una formación. Es decir, estos métodos de evaluación requieren de una formación presencial de calidad para asegurar su correcta aplicación.

### **Validación epidemiológica**

Algunos autores han cuestionado el criterio biomecánico de la fuerza límite máxima de compresión en la columna utilizado en la ecuación NIOSH [JÄGER, LUTTMANN, 1999]; pero otros autores han realizado una validación teórica de la ecuación [ABDALLAH et al., 2005], obteniendo resultados similares con la ecuación revisada NIOSH y el modelo matemático, llamado índice de levantamiento generalizado, derivado del trabajo mecánico necesario para desplazar un objeto contra la fuerza de gravedad y las fuerzas de fricción.

Pero más que los cuestionamientos sobre el modelo y los criterios utilizados, lo

relevante de la ecuación es su nivel de capacidad de predecir el daño, siendo esto un mayor nivel de validación de la metodología.

La validación epidemiológica va dirigida a comprobar hasta qué punto, el índice de riesgo que se obtiene es una función del riesgo; es decir, es un buen indicador del desarrollo de trastornos musculoesqueléticos relacionados con el trabajo, como los trastornos en la zona dorsolumbar.

La asociación entre los índices de riesgo que se obtienen con la Ecuación NIOSH Revisada y la producción de trastornos en el raquis aún no se ha demostrado completamente, pero ya hay algunos estudios realizados que demuestran y confirman esta asociación.

En [WATERS et al., 1999] se realizó un estudio transversal de 1 año de prevalencia de dolor en la zona baja de la espalda entre un grupo de 204 expuestos y 80 no expuestos. El grupo de trabajadores expuesto desarrollaba su actividad en un total de 50 puestos de trabajo donde el levantamiento de cargas es uno de los requerimientos predominantes. En cada puesto de trabajo se calculó el LI o el CLI de cada tarea de levantamiento, tomando el valor máximo como valor de referencia. Como resultado se obtuvo una clara asociación entre el incremento del LI a partir de 1 y el incremento del dolor en la zona baja de la espalda. Ese mismo año se publica otro estudio transversal de 353 trabajos industriales de 48 industrias diferentes [MARRAS et al., 1999]. En este estudio se analizó la capacidad predictora del LI, considerando la variabilidad de levantamientos mediante el cálculo tanto de los valores medios como de los valores máximos, así como la significancia de cada uno de los factores multiplicadores. El resultado fue que el LI es un predictor moderado en situaciones de alto riesgo pero pierde capacidad para las situaciones de bajo riesgo. En las conclusiones se afirma que “estos análisis indican que la ecuación NIOSH tiene potencial como predictor para identificar trabajos que expongan a los trabajadores a riesgo de desarrollar trastornos en la zona baja de la espalda”.

Más recientemente, en [BODA et al., 2010], se publica un estudio prospectivo de cohorte multi-céntrico para validar la predictibilidad de la Ecuación NIOSH Revisada del dolor en la zona baja de la espalda relacionado con el trabajo (LBP), realizado sobre 258 trabajadores sin síntomas de un total de 30 empresas. La variabilidad en la exposición se trató tomando los valores máximos del LI o del CLI,

según corresponda. Los resultados mostraron una buena evidencia de asociación entre los valores máximos del LI y la incidencia de casos de LBP.

Recientemente, investigadores del NIOSH [WATERS et al., 2011] han completado el estudio transversal previamente mencionado [WATERS et al., 1999], con un tamaño de muestra total de 677 personas (560 personas en el grupo de expuestos y 117 personas en el grupo de no expuestos). Los 393 trabajadores adicionalmente considerados incluían 37 trabajadores expuestos a un  $LI = 0$ , 84 a  $0 < LI \leq 1$ , 107 a  $1 < LI \leq 2$ , 115 a  $2 < LI \leq 3$ , y 50 a  $LI > 3$ . En el estudio previo, la categoría de valores  $1 < LI < 2$  no era significativamente diferente del grupo de no expuestos y sólo el OR para la categoría  $2 < LI < 3$  era significativamente superior que el grupo de no expuestos. En cambio, la potencia adicional incorporada a la muestra con personas expuestas en todas las categorías de riesgo demuestra que el OR para la categoría  $1 < LI \leq 2$  es también significativamente más alto que el grupo de no expuestos.

Todo y estos resultados preliminares, se debe remarcar que las conclusiones obtenidas aún no son definitivas y es necesario realizar estudios de validación definitivos sobre la asociación entre los niveles de LI y el dolor en la zona baja de la espalda.

Por muchas razones, es muy difícil desarrollar estudios de validación de un indicador como la Ecuación de Levantamiento NIOSH. Algunas de las complicaciones de tales estudios son la naturaleza de los datos de enfermedad/daño, la rotación de trabajadores entre trabajos y el impacto de otros requerimientos físicos del trabajo a parte del levantamiento de cargas.

Sin embargo, los resultados obtenidos por estos estudios refuerzan la conclusión que el Índice de Levantamiento es útil para identificar trabajos con un riesgo significativo, siendo un buen predictor de la relación entre el riesgo por levantamiento manual de cargas y el dolor en la zona baja de la espalda.

Es necesario desarrollar más investigación para refinar y ampliar la aplicación de la Ecuación NIOSH Revisada a un mayor alcance de tipos de trabajo, como en los que se realiza levantamiento de cargas con una mano, levantamiento en combinación con empuje, tracción y transporte de cargas, levantamientos en condiciones de entorno no óptimas, y trabajos con alta variabilidad en las tareas.

# Nuevas propuestas

## Normas técnicas internacionales basadas en la Ecuación NIOSH Revisada

Actualmente, la principal entidad en el desarrollo y publicación de normas técnicas a nivel mundial es la International Organization for Standardization (ISO), organismo reconocido por las Naciones Unidas que sigue las prácticas recomendadas por la Organización Mundial de la Salud. Desde 1991, con la firma del acuerdo de colaboración entre el European Committee for Standardization (CEN) e ISO, conocido como el 'Vienna Agreement', ambas instituciones trabajan conjuntamente en el desarrollo de normas para evitar duplicidad de esfuerzos.

Desde el año 2000, el trabajo conjunto del Work Group 4 “Biomechanics” del Technical Committee 122 de CEN y el Work Group 4 “Human physical strength - Manual handling and force limits” del Sub-Committee 3 del Technical Committee 159 de ISO ha originado la publicación de diversas normas técnicas relacionadas con la manipulación manual de cargas, las series EN 1005 [CEN, 2001, 2002, 2003, 2004, 2007] y las series ISO 11228 [ISO, 2000, 2003, 2007a, 2007b], respectivamente.

Entre ellas, se destaca la norma dirigida al empuje y tracción de cargas [ISO, 2007a], requerimiento de trabajo que al igual que el levantamiento manual de cargas, puede afectar la zona dorsolumbar de la persona trabajadora. Esta norma recomienda dos métodos de evaluación: El primero es más sencillo y está basado principalmente en las tablas psicofísicas diseñadas por [SNOOK, CIRIELLO, 1991], utilizadas ampliamente desde su fecha de publicación, y en los datos facilitados en el libro de Mital [MITAL et al., 1993]. El segundo método es significativamente más complejo e incluye un procedimiento para determinar los límites al empuje y tracción de cargas según las características específicas de la población expuesta al riesgo.

En el año 2003 se publicaron las dos normas de consenso internacional vinculadas al levantamiento de cargas, la norma EN 1005-2 y la norma ISO 11228-1.

Ambos documentos toman como referencia la Ecuación NIOSH Revisada, complementándola con dos factores multiplicadores adicionales, uno para valorar la condición que el levantamiento se realice con una mano y otro para valorar la



condición que el levantamiento se realice entre varias personas.

Respecto al levantamiento con una mano, se puede afirmar que incrementa significativamente la carga sobre el hombro, especialmente para valores de V altos [FABER et al., 2009] e incrementa la asimetría del tronco [MARRAS, DAVIS, 1998] [KINGMA, VAN DIEEN, 2004]. En base a estos fundamentos se ha propuesto un multiplicador que penalice el levantamiento de una mano respecto a realizarlo con las dos manos.

Respecto al levantamiento de la carga entre varias personas, es una cuestión que requiere aún esfuerzo de investigación. Cuando se realizan levantamientos de objetos cuya distribución de la masa no es uniforme, es esperable que la persona que levante el objeto por el lado de mayor masa, tenga una mayor exigencia que la persona que levanta por el lado opuesto. Pero aun así, se ha encontrado que el incremento de exigencia en la columna es menor al incremento del ratio de diferencia en la distribución de la masa [DENNIS, BARRETT, 2003], principalmente debido a que el peso del cuerpo por encima del disco L4/L5 es constante y a estrategias como aplicar fuerzas horizontales de tracción con las manos, que únicamente son verticales cuando se realiza el levantamiento por una persona, y así, manteniendo el objeto más cercano al cuerpo.

En levantamientos de objetos con una distribución de masa uniforme, comparando el levantamiento individual con el levantamiento del doble de peso entre dos personas, se han encontrado reducciones del 14% del esfuerzo percibido, del 20% en el momento generado y del 19% de la fuerza de compresión [DENNIS, BARRETT, 2002], siendo valores de reducción similares a los notados por Marras [MARRAS et al., 1999].

Todo y el desconocimiento actual sobre las implicaciones de levantar entre varias personas una carga, las normas técnicas mencionadas proponen un criterio de análisis.

### **El índice de levantamiento secuencial**

En el año 2007, Thomas Waters, Ming-Lun Lu y Enrico Occhipinti desarrollaron una propuesta para analizar tareas de levantamiento secuenciales, es decir, la realización de diferentes tareas de levantamiento a lo largo del turno [WATERS et

al., 2007]. Las tareas de levantamiento secuenciales son bastantes frecuentes, por ejemplo, debido a sistemas de rotación en puestos de trabajo.

Se considera una tarea secuencial cuando los trabajadores rotan entre una serie (2 ó más) de tareas (ya sean tareas compuestas por subtareas o no) durante un turno de trabajo. Cada tarea de levantamiento se debe realizar de forma continua durante al más 30 minutos.

La metodología de cálculo es el Índice de Levantamiento Secuencial (SLI) [WATERS et al., 2007], descrita en detalle posteriormente en [ALVAREZ-CASADO et al., 2009].

### **Variantes de la Ecuación NIOSH Revisada**

Durante estos años, diversas entidades o agencias de seguridad y salud laboral nacionales han propuesto sus propios métodos, como por ejemplo, el método TLV® for Lifting, de la American Conference of Governmental Industrial Hygienists [ACGIH, 2005] y el método Hazard Zone Jobs Checklist, del Estado de Washington [WASHINGTON STATE DEPT. OF LABOUR AND INDUSTRIES, 2008].

Estos métodos se presentan para una aplicación más extensiva por usuarios no expertos, con un procedimiento más esquemático. Pero la mayoría de estos métodos referencian a la Ecuación NIOSH Revisada como el método que fundamenta sus criterios, a partir de la cual se han realizado simplificaciones.

Otro enfoque comúnmente extendido es el diseño y análisis de tareas de levantamiento manual a partir de la tablas de Liberty Mutual [LIBERTY MUTUAL, 2004] y la adaptación realizada por el Health and Safety Executive (HSE) del Reino Unido para los inspectores de trabajo, llamada MAC [MONNINGTON et al., 2002], publicada posteriormente como una guía técnica [HSE, 2004].

Los datos psicofísicos en los que se fundamentan estos métodos fueron desarrollados por Snook y Ciriello [SNOOK, CIRIELLO, 1991], han sido considerados también como parte de los criterios de la Ecuación NIOSH Revisada.

Parte II

MARCO TÉORICO Y DESARROLLO  
DEL MODELO



# Descripción de los modelos actuales

---

## Cálculo del Índice de Levantamiento (LI)

Dada una tarea de levantamiento de cargas  $T$ , cuyo universo de análisis del riesgo por levantamiento manual de cargas es  $\{FLI_T, N_T, WD_T, TL_T, TF_T, ST_T, F_T, LI_T\}$ , donde

$FLI_T$  es un número positivo que representa el nivel de riesgo final de la tarea  $T$  debido al levantamiento manual de cargas;

$N_T$  es un número entero positivo que representa el número de subtareas que componen la tarea  $T$ ;

$WD_T$  es una etiqueta que representa la duración de la tarea de levantamientos en el turno; es función de  $D_T$ , número entero positivo que representa el número de minutos máximo que se realiza la tarea  $T$  de forma continua en el turno de trabajo; y de  $RE_T$ , número entero positivo que representa el número de minutos de duración de tareas ligeras o pausas que se realizan a continuación; que dicha función queda definida por:

$WD_T = \text{"corta" sys. } D_T \leq 60 \text{ y } RE_T \geq 100\% D_T$  (criterio actualizado respecto a la publicación original en [WATERS, 2006]);

$WD_T = \text{"media" sys. } WD_T \neq \text{"corta" y } D_T \leq 120 \text{ y } RE_T \geq 30\% D_T$ ;

$WD_T = \text{"larga" sys. } WD_T \neq \text{"corta" y } WD_T \neq \text{"media"};$

$TL_T$  es un número entero positivo que representa el número de levantamientos de cargas que se realiza durante  $WD_T$ ;

$TF_T$  es un número positivo que representa la frecuencia media total de levantamientos de cargas de la tarea  $T$ , es decir, el ritmo de trabajo;

$ST_T : \{ST_{1,T}, \dots, ST_{N,T}\}$ , es el conjunto finito de subtareas que componen la tarea  $T$ ;

$F_T : \{F_{1,T}, \dots, F_{N,T}\}$ , es el conjunto de valores de la frecuencia de levantamientos por minuto de cada subtask de la tarea  $T$ ;

$LI_T : \{LI_{1,T}, \dots, LI_{N,T}\}$ , es el conjunto de valores de Índice de Levantamiento de cada subtask de la tarea  $T$ ;

Siendo  $F_T = TL_T / WD_T$ ;

Si  $N_T = 1$ , a la tarea  $T$  se le llama tarea simple, y en consecuencia,  $ST_T$ ,  $F_T$  y  $LI_T$  son conjuntos unitarios:

$$ST_T = \{ST_{1,T}\}; F_T : \{F_{1,T}\}; LI_T : \{LI_{1,T}\}$$

Y  $FLI_T = LI_1$ ; es decir, el Índice de Levantamiento final de la tarea  $T$  será equivalente al Índice de Levantamiento de la subtask 1.

Por este motivo, y con el objetivo de disponer un procedimiento más genérico, a continuación se presenta el procedimiento de cálculo del Índice de Levantamiento para una subtask  $i$ .

Para mayor entendimiento, cabe notar que cada subtask de levantamiento viene determinada por un valor de peso levantado ( $L$ ), un valor de altura de agarre ( $V$ ), un valor de distancia horizontal ( $H$ ), un valor de dislocación ( $D$ ) y un valor de asimetría ( $A$ ).

Dada una subtask de levantamiento  $i$  ( $ST_i$ ), cuyo universo de análisis del riesgo por levantamiento manual de cargas es  $\{LI_i, L_i, V_i, H_i, D_i, C_i, A_i, F_i\}$ , donde

$LI_i$ : Número positivo que representa el índice de levantamiento de la subtask  $i$ ;

$L_i$ : Número positivo que representa el peso levantado del objeto en la subtask  $i$ , medido en kilogramos;

$V_i$ : Número positivo que representa la altura de agarre desde el suelo del objeto levantado en la subtask de levantamiento  $i$ , medida en centímetros;

$H_i$ : Número positivo que representa la distancia horizontal del punto medio de agarre del objeto levantado al centro de masas del cuerpo en la subtask de levantamiento  $i$ , medida en centímetros;

$D_i$ : Número positivo que representa la dislocación vertical del trayecto entre el origen y el depósito en la subtask de levantamiento  $i$ , medida en centímetros;

$C_i$ : Etiqueta que representa la calidad del tipo de agarre que permite el objeto levantado en la subtask  $i$ ;

$A_i$ : Número positivo que representa el ángulo de asimetría del tronco respecto al plano sagital realizada durante la subtask de levantamiento  $i$ , medido en grados;

$F_i$ : Número positivo que representa la frecuencia de levantamientos realizados en la subtask  $i$ , medido en levantamiento por minuto;

Se define el Índice de Levantamiento ( $LI_i$ ) de la subtask  $ST_i$  como:

$$LI_i = L_i / RWL_i$$

donde,

$RWL_i$  es el peso límite recomendado de la subtask  $i$ .

$$RWL_i = m_{ref} \times VM_i \times HM_i \times DM_i \times AM_i \times CM_i \times FM_i$$

Siendo,

$m_{ref}$ : la constante masa de referencia

$VM_i = [0, 1]$ , el factor multiplicador de la distancia vertical  $V_i$

$HM_i = [0, 1]$ , el factor multiplicador de la distancia horizontal  $H_i$

$DM_i = [0, 1]$ , el factor multiplicador de la dislocación vertical  $D_i$

$AM_i = [0, 1]$ , el factor multiplicador de la asimetría  $A_i$

$CM_i = [0, 1]$ , el factor multiplicador de la calidad del tipo de agarre  $C_i$  que permite el objeto

$FM_i = [0, 1]$ , el factor multiplicador de la frecuencia  $F_i$

Estos factores multiplicadores están definidos en las siguientes funciones:

$$VM_i = 1 - (0.003 |V_i - 75|)$$

$$DM_i = 0.82 + (4.5/D_i)$$

$$HM_i = 25 / H_i$$

$$AM_i = 1 - 0.0032A_i$$

La función  $CM_i$  está representada en la **tabla 3.1**.

Calidad del agarre	Buena	Media	Mala
Descripción	Longitud de la carga $\leq 40$ cm; altura de la carga $\leq 30$ cm; presencia de asas. Objeto y asas tienen una configuración sencilla que permite agarrarlo fácilmente sin desviaciones significativas de las muñecas.	Longitud de la carga $\leq 40$ cm; altura de la carga $\leq 30$ cm; no dispone de asas. Permite agarrarlo con una flexión de $90^\circ$ de la mano pero sin desviaciones significativas de las muñecas.	Longitud de la carga $> 40$ cm o altura de la carga $> 30$ cm, o dificultad de agarre o material blando o centro de masa inestable o requiere el uso de guantes.
$CM_i$	1.00	0.95	0.90

**Tabla 3.1.** Función  $CM_i$  Agarre.

El factor multiplicador de la frecuencia  $F_i$ ,  $FM_i$ , se representa mediante la función  $FM_i(F_i, V_i, WD)$ , siendo  $WD$  la valoración de la duración del trabajo que implica el levantamiento de cargas en el turno; el álgebra de esta función está representada en la **tabla 3.2**.

A continuación, a partir de las variables presentadas, es necesario definir otras características de la subtarea  $ST_i$  para su posterior referencia.

Peso Límite Recomendado Independiente de la Frecuencia ( $FIRWL_i$ ):

$$FIRWL_i = m_{ref} \times VM_i \times HM_i \times DM_i \times AM_i \times CM_i$$



Índice de Levantamiento Independiente de la Frecuencia (FIL<sub>i</sub>):

$$FIL_i = L_i / FIRWL_i$$

FM <sub>i</sub>	V <sub>i</sub> < 75 cm			V <sub>i</sub> ≥ 75 cm		
F <sub>i</sub>	WD “corta”	WD “media”	WD “larga”	WD “corta”	WD “media”	WD “larga”
< 0,1	1	1	1	1	1	1
0,1	1	0,95	0,85	1	0,95	0,85
0,5	0,97	0,92	0,81	0,97	0,92	0,81
1	0,94	0,88	0,75	0,94	0,88	0,75
2	0,91	0,84	0,65	0,91	0,84	0,65
3	0,88	0,79	0,55	0,88	0,79	0,55
4	0,84	0,72	0,45	0,84	0,72	0,45
5	0,80	0,60	0,35	0,80	0,60	0,35
6	0,75	0,50	0,27	0,75	0,50	0,27
7	0,70	0,42	0,22	0,70	0,42	0,22
8	0,60	0,35	0,18	0,60	0,35	0,18
9	0,52	0,30	0,00	0,52	0,30	0,15
10	0,45	0,26	0,00	0,45	0,26	0,13
11	0,41	0,00	0,00	0,41	0,23	0,00
12	0,37	0,00	0,00	0,37	0,21	0,00
13	0,00	0,00	0,00	0,34	0,00	0,00
14	0,00	0,00	0,00	0,31	0,00	0,00
15	0,00	0,00	0,00	0,28	0,00	0,00
>15	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00

**Tabla 3.2** Multiplicador de frecuencia y duración.

# Cálculo del Índice de Levantamiento Compuesto (CLI)

Dada una tarea de levantamiento de cargas compuesta  $T$ , cuyo universo de análisis del riesgo por levantamiento manual de cargas es  $\{CLI_T, N_T, WD_T, TL_T, TF_T, ST_T, F_T, LI_T\}$ , donde,

$CLI_T$  es un número positivo que representa el nivel de riesgo de la tarea  $T$  debido al levantamiento manual de cargas;

$N_T$  es un número entero positivo que representa el número de subtareas que componen la tarea  $T$ .

Dadas las definiciones anteriores, el número de subtareas presentes en el trabajo  $N_T$  se puede expresar mediante la siguiente fórmula:

$$N_T = e(L) \times e(V) \times e(H) \times e(D) \times e(C) \times e(A)$$

donde,

$N$  es el número de subtareas presentes en el trabajo analizado;

$e(X)$  es la función dimensión del universo de valores del requerimiento  $X$  en el trabajo analizado.

$WD_T$  es un número entero positivo que representa el número de minutos que se realiza la tarea  $T$  en el turno de trabajo;

$TL_T$  es un número entero positivo que representa el número de levantamientos de cargas que se realiza durante  $WD_T$ ;

$TFT$  es un número positivo que representa la frecuencia media total de levantamientos de cargas de la tarea  $T$ , es decir, el ritmo de trabajo medido en levantamientos por minuto;  $TFT = TLT / WDT$

$ST_T : \{ST_{1,T}, \dots, ST_{N,T}\}$ , es el conjunto finito de subtareas que componen la tarea  $T$ ;

$F_T : \{F_{1,T}, \dots, F_{N,T}\}$ , es el conjunto de valores de la frecuencia de levantamientos por minuto de cada subtask de la tarea  $T$ ;

$LI_T : \{LI_{1,T}, \dots, LI_{N,T}\}$ , es el conjunto de valores de Índice de Levantamiento de cada subtarea de la tarea T;

Se define el Índice de Levantamiento Compuesto de la tarea T ( $CLI_T$ ) como:

$$CLI_T = LI'_{1,T} + \sum_{i=1}^{N_T-1} \Delta LI'_{i,T}$$

donde,

$LI'_T$  es conjunto resultante de aplicar la relación de orden estricto  $\geq$  al conjunto  $LI_T$ ,  $LI'_T = \{LI_T, \geq\}$ , y por tanto,  $LI'_{1,T} = \max (LI_T)$ .

$$\Delta LI'_{i,T} = FILI'_{i+1,T} \times \left( \frac{1}{FM'_{\sum_{n=1}^{i+1} F'_{n,T}}} - \frac{1}{FM'_{\sum_{n=1}^i F'_{n,T}}} \right)$$

Evidentemente, por consistencia de la información, se debe cumplir que:

$$FM'_{\sum_{n=1}^{N_T} F'_{n,T}} = FM_{TF_T} = FM_T$$

## Análisis matemático de las limitaciones

La principal limitación de esta ecuación es debida al comportamiento de la función  $FM_i$ , que para todos los valores de  $F_i < 0,1$ , toma el valor de 1, representado en la **figura 3.1**.

Dado un ritmo de trabajo determinado,  $TF_T$ , como:

$$TF_T = \sum_{i=1}^{N_T} F_{i,T}$$

Cuanto mayor sea  $N_T$ , menores serán los valores de  $F_{i,T}$  y más valores del dominio de  $FM_T$  serán igual a 1. Sobre todo, considerando que la frecuencia total de levantamientos, en la práctica no es excesivamente alta. De hecho, es difícil encontrar casos donde el trabajo requiera frecuencias de levantamiento mucho más altas a las consideradas en la ecuación NIOSH. A partir del análisis de 1063 casos [DEMPSEY, 2003], se encontró que las frecuencias de levantamiento están

comprendidas entre 0,1 levantamientos por minuto (percentil 10) y 8 levantamientos por minuto (percentil 90).

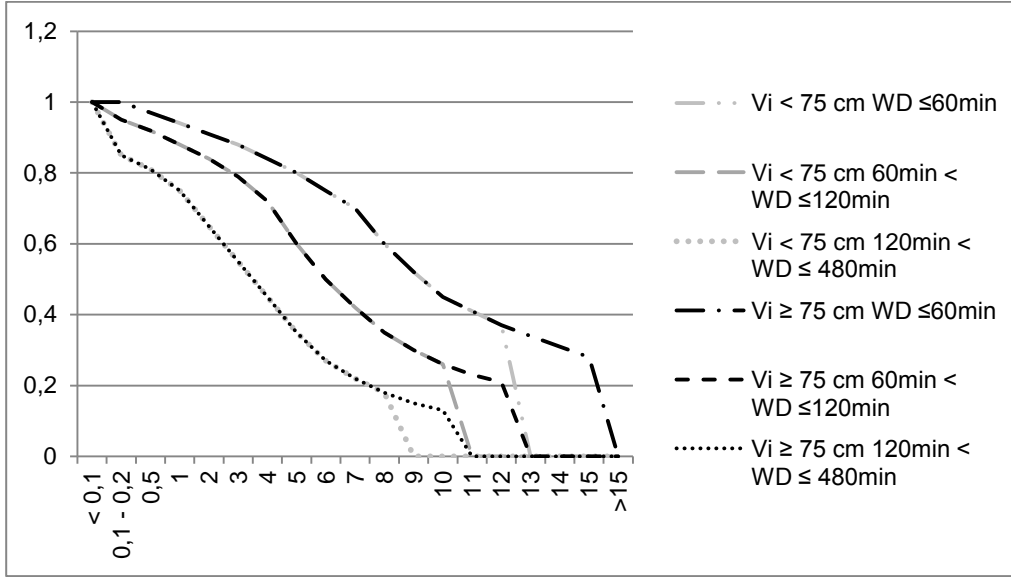


Figura 3.1. Comportamiento de la función  $FM_i$ .

Este efecto puede producir que algunos de los valores de  $\Delta LI_i$  tomen el valor de cero, y consecuentemente, las  $ST_{i+1}$  queden ignoradas y no contribuyan al nivel del riesgo obtenido en el índice CLI.

Para evitar este efecto adverso que puede llevar a subvalorar el nivel de riesgo por exposición al levantamiento manual de cargas, en la literatura se ha establecido la siguiente restricción: “El procedimiento de cálculo del CLI no es aplicable para casos donde  $N_T > 10$ ”.

La omisión de la contribución de subtareas al nivel de exposición al riesgo se produce en los casos que  $\Delta LI'_i = 0$ .

$$\Delta LI'_i = 0, \text{ si yss } O(FM'_{\Sigma_1^{i+1} F'_{i,T}} = FM'_{\Sigma_1^i F'_{i,T}}; FILL'_{i+1,T} = 0)$$

En general,  $FILL_i = 0$  si yss  $L_i = 0$ ; y en tal caso, es consistente que la contribución de  $ST_i$  se anule.

Pero si  $FM'_{\sum_1^{i+1} F'_{n,T}} = FM'_{\sum_1^i F'_{n,T}}$  , entonces  $\Delta LI'_i = 0$ .

Dado que FM es una función discreta, esta condición sucede en cualquiera de los siguientes casos:

- a)  $\exists i, \sum_1^{i+1} F'_{n,T} = \sum_1^i F'_{n,T}$  ; es decir,  $F'_{i+1,T} = 0$  ;
- b)  $\exists i, F'_{i+1,T} \ll 0,1$  ;
- c1)  $\exists i, \sum_1^{i+1} F'_{n,T} < 0,1$  si  $WDT > 60$  min;
- c2)  $\exists i, \sum_1^{i+1} F'_{n,T} \leq 0,1$  si  $WDT \leq 60$  min

El caso a) es coherente, puesto que anula el efecto de la subtaska  $ST_{i+1}$ , cuya frecuencia es nula, es decir, no se realiza.

Las situaciones que pueden ocasionar un efecto adverso en la evaluación son la b) y las c), principalmente cuando  $ST'_{i+1}$  es una subtaska exigente, es decir, el valor de  $FILI'_{i+1,T}$  es significativo en la exposición al riesgo.

Las condiciones b) y c) están representando las exposiciones a subtasksas frecuencias de levantamiento de cargas, es decir, que no se realizan con un ritmo continuo, si no que se realiza 1 levantamiento cada 5 minutos o más tiempo a lo largo del día.

El efecto negativo de la condición b) se puede evitar considerando la función FM como continua, mediante la interpolación lineal entre los valores discretos. De esta forma,

$FM'_{\sum_1^{i+1} F'_{n,T}} \sim FM'_{\sum_1^i F'_{n,T}}$  , pero no iguales.

De aquí en adelante, se asumirá la función FM como continua.

Habiendo resuelto los casos a) y b), la situación limitante que nos queda es la c).

Recordemos que la notación prima indica que se ha aplicado una reordenación de las subtasksas, aplicando la relación de orden estricto  $\geq$  al conjunto LI, de modo que  $ST'_1$  es la subtaska con el valor máximo en LI.

Y cabe aclarar que en la notación  $\sum_1^{i+1} F'_{n,T}$  , se están sumando los valores de las frecuencias  $F_n$  asociadas a las  $ST_n$  con los valores de LI mayores.

Por lo tanto, esta condición se puede cumplir cuando en el dominio de T, las  $ST_n$

más exigentes (valores  $LI_n$  mayores), lo son debido a los factores posturales del levantamiento (valores de  $FIRWL_n$  altos), realizándose con baja frecuencia (valores  $F_n$  bajos).

Para ilustrar este efecto con un ejemplo, consideremos la tarea  $T: \{CLI_T; 3; 480; 48; 0,09; \{ST_1, ST_2, ST_3\}, \{0,03; 0,03; 0,03\}, \{2,293; 1,376; 1,067\}\}$ .

Como ya es un conjunto ordenado,  $LI'_T = LI_T$ , y por tanto,  $ST'_T = ST_T$ .

En este caso, se cumple que:

$$FM_{F_1} = FM_{F_1+F_2} = FM_{F_1+F_2+F_3} = 1;$$

y por tanto,  $CLI_T = LI_{1,T} = 2,293$ .

Tomando una tarea  $Q: \{CLI_Q; 1; 480; 16; 0,03; \{ST_1\}, \{0,03\}, \{2,293\}\}$ , tendremos  $CLI_T = CLI_Q$ , es decir, se obtiene el mismo resultado para una tarea  $Q$  compuesta únicamente de la subtarea  $ST_1$ , , siendo  $T$  una tarea que implica 1 levantamiento cada 10 minutos y  $Q$  una tarea que implica 1 levantamiento cada 30 minutos.

Consideremos ahora otra tarea  $R: \{CLI_T; 3; 480; 96; 0,2; \{ST_1, ST_2, ST_3\}, \{0,05; 0,05; 0,1\}, \{2,293; 1,376; 1,067\}\}$ .

De nuevo, es un conjunto ordenado y por tanto,  $LI'_T = LI_T$ ;  $ST'_T = ST_T$ .

$$CLI_R = LI_1 + \Delta LI_1 + \Delta LI_2 = 2,293 + 0 + 0,141 = 2,435.$$

En este caso, al anularse  $\Delta LI_1$ , el  $FIL_2$  no contribuye en el resultado de  $CLI_R$ .

De forma general, se puede afirmar que las situaciones c) pueden producir dos efectos diferentes, dependiendo del valor de  $TF_T$ , como ritmo de levantamientos bajo y ritmo de levantamientos alto, enunciados como reglas  $A_1$  y  $A_2$  respectivamente.

$A_1$ : Si  $\{c_1\}; TF_T < 0,1\} \cup \{c_2\}; TF_T \leq 0,1\}$ , entonces  $CLI_T = LI'_{1,T}$ , dado que para todo  $i > 1$ ,  $\Delta LI_i = 0$ .

En estos casos,  $CLI_T$  queda determinado únicamente por la exigencia de la sub-tarea  $ST'_1$ .

$A_2$ : Si  $\{c_1\}; TF_T \geq 0,1\} \cup \{c_2\}; TF_T > 0,1\}$ , entonces  $CLI_T > LI'_{1,T}$  y  $\exists i$ , tq.  $\Delta LI_i = 0$ .

En estos casos, el subconjunto de subtareas  $\{ST_2, \dots, ST_{i+1}\}$ , cuya  $F_n \neq 0$ , contribuirá al  $CLI_T$ , pero únicamente con la exigencia de frecuencia, ignorando su exigencia postural ( $FILI_n$ ).

La restricción recomendada en la literatura  $N_T \leq 10$ , no anula el espacio de aplicación de las reglas  $A_1$  y  $A_2$ , aunque sí reduce el espacio de aplicación de la regla  $A_2$ , y por tanto, la probabilidad que este efecto adverso suceda en la evaluación de tareas de ritmo elevado.

El uso de la restricción  $N_T \leq 10$ , genera que la regla  $A_2$  no aplique en el siguiente subconjunto:  $\{c_1\}; F'_1 + F'_2 \geq 0,1\} \cup \{c_2\}; F'_1 + F'_2 > 0,5\}$ . Si todas las subtareas tienen la misma frecuencia asociada, se puede representar el subconjunto como  $\{c_1\}; TF_T \geq 0,5\} \cup \{c_2\}; TF_T > 0,5\}$ .

Supongamos T, con  $WD_T < 60$  y  $TF_T = 0,5$ , que se decide evaluar con  $N_T = 20$ , repartiendo uniformemente  $TF_T$  sobre  $F_T$ , es decir, para todo  $i$ ,  $F_i = 0,025$ . En este caso, aplica la regla  $A_2$  y la contribución postural de  $ST'_2$  y  $ST'_3$  queda anulada, siendo  $\Delta LI_1 = \Delta LI_2 = 0$ .

En cambio, si se evalúa T con  $N_T = 10$ , para todo  $i$ ,  $F_i = 0,05$ , y no aplicará la regla  $A_2$ .

Si se aplica la fórmula CLI para estimar la exposición a levantamientos de pesos variables, la omisión de valores FILI de algunas subtareas puede tener un efecto negativo mayor, debido a que FILI no sólo representará los requerimientos posturales de la subtaska si no también los requerimientos de peso del objeto levantado.

Sea ST tal que  $F'_1 > F'_2$ ;  $L'_1 < L'_2$ ;

Si  $F'_1 + F'_2 < 0,1$  entonces  $\Delta LI_1 = 0$ ; y por tanto,  $FILI'_2$  se omitirá en el cálculo de CLI; En estos casos, lógicamente se cumple que:

$$FM'_1 = FM'_2 = 1; \text{ y por tanto, } FIRWL'_1 < FIRWL'_2;$$

es decir, la subtaska  $ST'_2$  requiere el levantamiento de un peso mayor con requerimientos posturales menos exigentes; aun así, ni el requerimiento de ese peso ni los requerimientos posturales con los que se levanta no se consideran en el nivel de riesgo.

# Conclusiones

Como conclusiones del análisis de las limitaciones de la fórmula CLI, se puede afirmar que:

- En las tareas que implican levantamientos de cargas con frecuencias menores a 1 levantamiento cada 10 minutos, el cálculo del CLI sólo considerará la subtarea más exigente, omitiendo el resto de subtareas;
- Es necesario tratar la función FM como continua, por ejemplo, mediante la interpolación lineal de sus valores discretos, para reducir los casos en los que haya subtareas que se omitan;
- Si se aumenta la precisión de las variables posturales en el análisis de una tarea, y por tanto, se descompone en más subtareas, se aumenta la probabilidad que los requerimientos de peso y posturales de algunas subtareas se omitan en la estimación del riesgo;
- Cuanto menor sea el número de subtareas en las que se descompone una tarea, mayor será la probabilidad que el cálculo del CLI considere los requerimientos de todas ellas;
- Limitar a 10 el número de subtareas no es suficiente para garantizar el correcto comportamiento de la fórmula de cálculo del CLI, porque habrá casos en los que no se consideren los valores de FILI (requerimientos de peso y posturales) de algunas subtareas.



# Valoración de los levantamientos manuales de cargas y su evaluación del riesgo por los profesionales de la prevención

---

## Objetivos

En este estudio, se pretende responder a las siguientes preguntas a partir de la valoración de los levantamientos manuales de cargas y su evaluación del riesgo por profesionales de la prevención:

Sobre las cargas manipuladas

- ¿Qué tipo de cargas se levantan manualmente más frecuentemente?
  - ¿depende del sector de actividad?
- ¿Es adecuado suponer que la mayoría de cargas no permite un agarre cómodo?
  - ¿depende del tipo de carga?
  - ¿depende del sector de actividad?
  - ¿depende de la actividad dentro del proceso productivo donde se

realizan los levantamientos?

Sobre las evaluaciones de riesgo por levantamiento manual de cargas

- ¿En qué sectores de actividad se realizan más frecuentemente evaluaciones de riesgo por levantamiento manual de cargas?
- ¿Qué métodos de evaluación están más extendidos?
  - ¿depende del sector de actividad?
  - ¿depende del tipo de organización donde trabaja el profesional?
  - ¿depende de su formación universitaria base?
  - ¿depende de sus años de experiencia en prevención de riesgos laborales?
- ¿Se presentan dificultades prácticas de medir algunos de los parámetros del levantamiento de forma precisa?
  - ¿qué parámetros son más difíciles de medir de forma precisa?
  - ¿depende del tipo de organización donde trabaja el profesional?
  - ¿depende de su formación universitaria base?
  - ¿depende de sus años de experiencia en prevención de riesgos laborales?
- ¿Son frecuentes los casos de levantamientos donde los parámetros son variables?
  - ¿depende de la actividad dentro del proceso productivo donde se realizan los levantamientos?
  - ¿depende del tipo de carga que se manipula?
- ¿Qué estrategia se utiliza para analizar la variabilidad en estos parámetros?
  - ¿depende del tipo de organización donde trabaja el profesional?
  - ¿depende de su formación universitaria base?

- ¿depende de sus años de experiencia en prevención de riesgos laborales?
- ¿Cómo se suele determinar la frecuencia de levantamientos?
  - ¿depende del tipo de organización donde trabaja el profesional?
  - ¿depende de su formación universitaria base?
  - ¿depende de sus años de experiencia en prevención de riesgos laborales?

## Selección y descripción de la muestra

### Criterios de selección de la muestra

Con el objetivo de asegurar la calidad del encuestado y la eficiencia en el procedimiento de selección de la muestra, se contactó con profesionales del área extraídos de la red de contactos personales ( $n=260$ ), formada a lo largo de los años. Esta red de contactos está formada principalmente por antiguos alumnos de cursos de especialización en el área, impartidos en diversas universidades y escuelas, pero la mayoría de ellos organizados por la Universitat Politècnica de Catalunya.

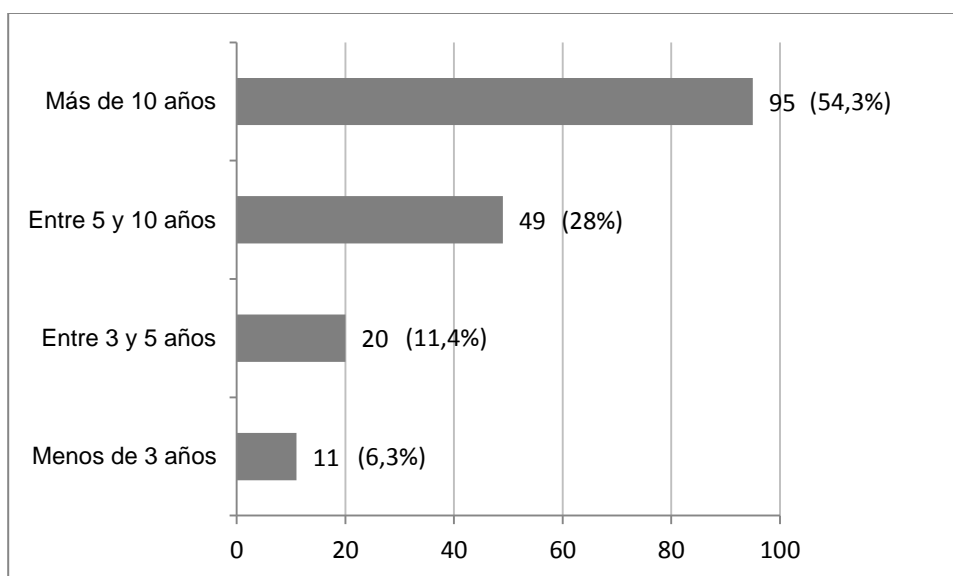
Se confirmó que todos ellos continuaban trabajando en el área. Se descartaron los profesionales sin experiencia en la realización de evaluaciones de riesgo por levantamiento manual de cargas, quedando una muestra de  $n=175$ .

A estos profesionales, se les preguntó si la realización de evaluaciones de riesgo relacionadas con ergonomía es una de las tareas habituales que realizan. El 78% tuvo una respuesta positiva, frente al 22% restante que no. Cabe considerar que las profesiones vinculadas al área de salud ocupacional y prevención de riesgos laborales comportan el desarrollo de diversas disciplinas técnicas además de la ergonomía laboral, como la higiene industrial, la seguridad, la gestión, la vigilancia de la salud, etc. De todas formas, la gran mayoría de la muestra seleccionada

aplica las técnicas de ergonomía laboral de forma habitual.

Evidentemente, la experiencia puede ser un factor influyente en la valoración que pueda realizar el experto sobre la práctica de estas técnicas; por este motivo, se preguntó sobre los años de experiencia en la práctica de la prevención de riesgos laborales o la seguridad y salud ocupacional.

En la **figura 4.1**, se indica los años de experiencia de la muestra en cuatro categorías y el número de expertos correspondientes a cada nivel.



**Figura 4.1.** Años de experiencia de la muestra de expertos consultados.

Como se puede comprobar, más del 80% de los encuestados tiene más de 5 años de experiencia en prevención de riesgos laborales.

Para este estudio, se descartaron los expertos con menos de 3 años de experiencia, quedando una muestra de  $n=164$ .

## Descripción de la muestra

A continuación se muestra la **tabla 4.1** en la que se indica el porcentaje de individuos que ejerce en cada uno de los países.

Argentina	Chile	Colombia	Cuba	Ecuador	España	México	Perú	Venezuela
4,0%	11,4%	9,1%	1,1%	1,7%	68,6%	0,6%	1,1%	2,3%

**Tabla 4.1.** Presencia de expertos por país en la muestra consultada.

En este estudio, más de la mitad de las personas encuestadas ejercen en España.

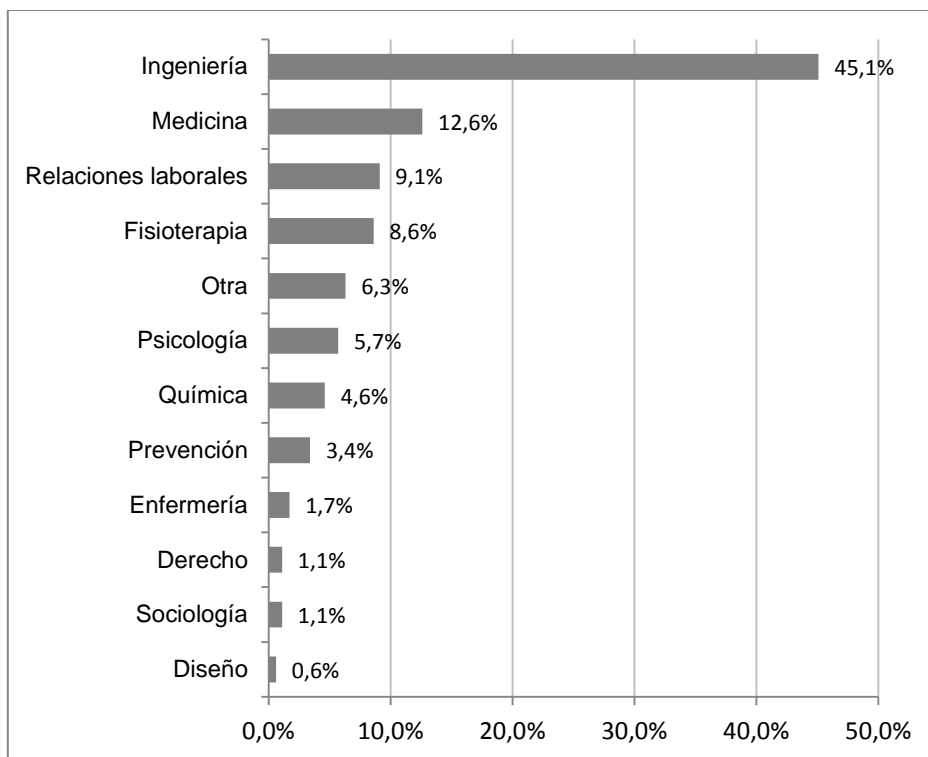
Aunque las diferencias socio-económicas, culturales y en marcos normativos de los diferentes países pueden influir en la práctica de esta disciplina, su análisis queda fuera del alcance de este estudio; además, la muestra de expertos considerados no permite valorar esta influencia.

En todos los países considerados, es necesario disponer de una formación específica en el área para ejercer en la materia, ya sea mediante un postgrado (máster, especialización o diplomado) o un segundo ciclo universitario.

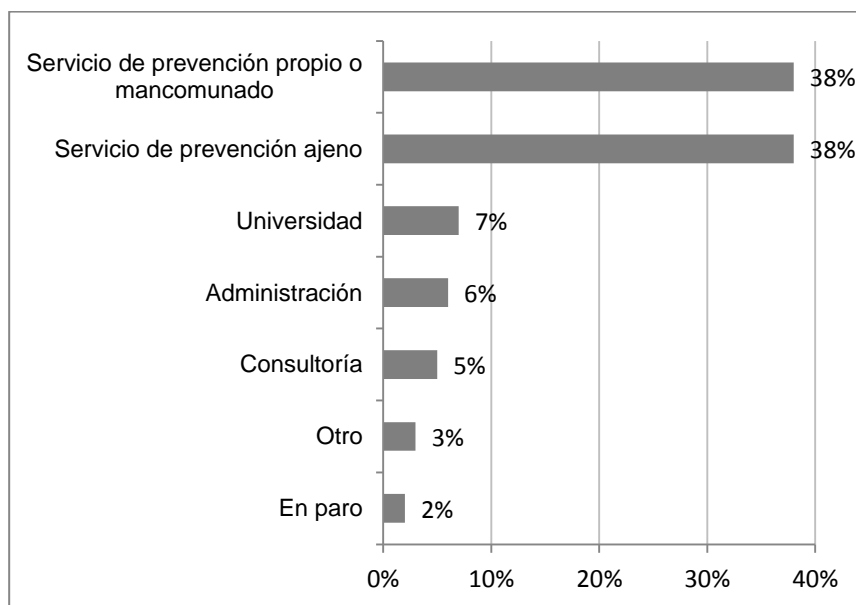
De todas formas, parece lógico suponer que la formación base universitaria puede influir en los esquemas mentales fuertes que rigen la percepción y la toma de decisión. Además, tradicionalmente, esta área ha sido multidisciplinar, convergiendo profesionales con diferente formación base.

Este criterio no se ha utilizado como discriminador en la selección de la muestra, pero como se ilustra en la **figura 4.2**, curiosamente el perfil predominante es el de ingeniería, representando un 45% de la muestra.

La gran mayoría de los expertos contactados desarrollan su trabajo como especialista en prevención de riesgos laborales en una empresa especializada en el área (consultoría o servicio de prevención ajeno), ofreciendo servicios a empresas de diversos sectores de actividad, representando el 43% de la muestra, o bien ejerciendo la actividad como personal de una empresa de un sector determinado (servicio de prevención propio o mancomunado), representando el 38% de la muestra. **Figura 4.3.**



**Figura 4.2.** Formación universitaria base de los expertos en prevención de riesgos laborales consultados

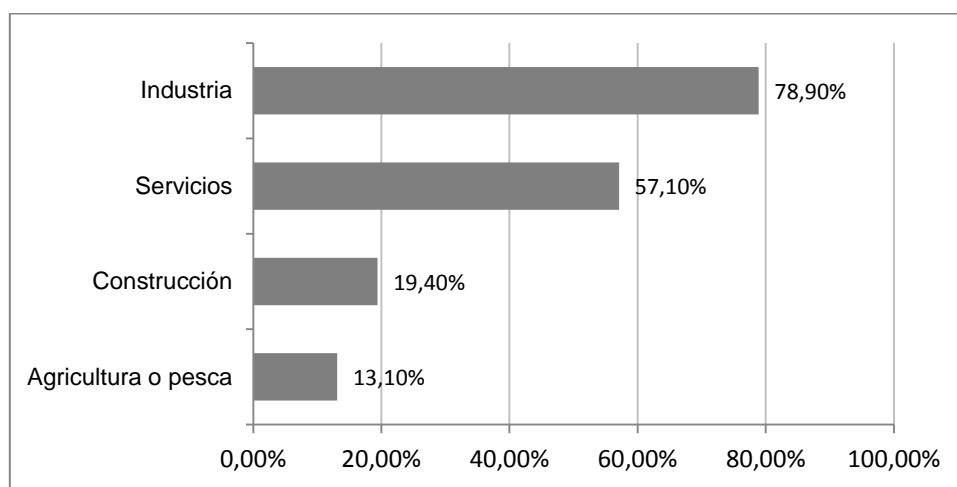


**Figura 4.3.** Tipo de organización en la que ejercen los expertos consultados.

# Resultados

## Sectores de actividad donde se han realizado evaluaciones de riesgo por levantamiento manual de cargas

De las personas encuestadas, más de la mitad no han realizado evaluaciones de riesgo por levantamiento manual de cargas en los sectores de agricultura o pesca y construcción, concretamente el 86,9% y el 80,6% respectivamente (**figura 4.4**). En cambio, en los dos sectores restantes el comportamiento es el contrario, dado que el 78,9% de la muestra ha realizado evaluaciones de riesgo por levantamiento manual de cargas en la industria y el 57,1% en el sector servicios.

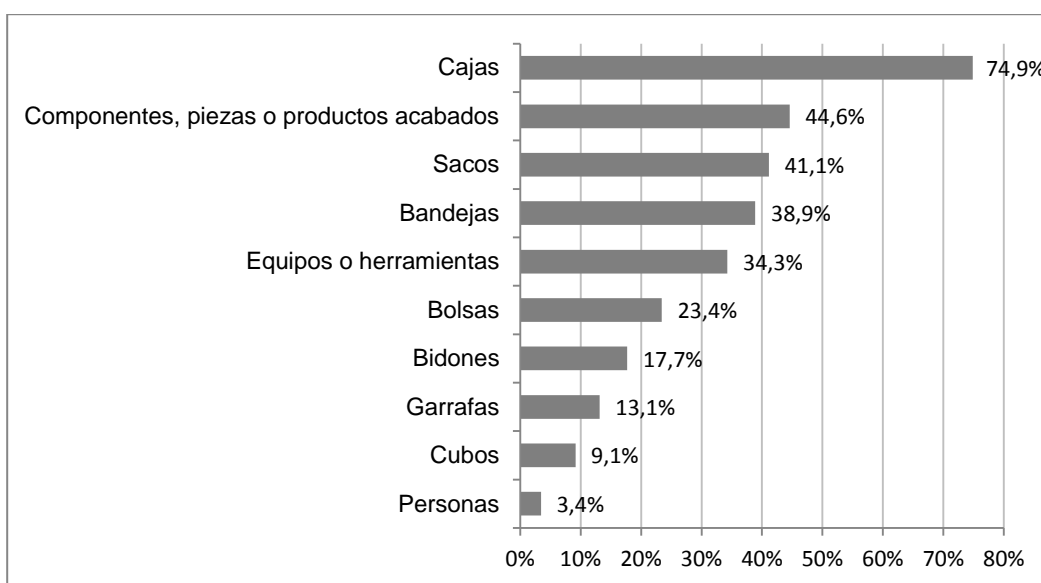


**Figura 4.4.** Frecuencia de realización de evaluaciones de riesgo de levantamiento manual de cargas por sectores de actividad.

# Requerimientos de los levantamientos manuales de cargas

## Los tipos de carga más frecuentes

En primer lugar, se preguntó sobre los tipos de cargas analizadas más frecuentemente. Para valorar esta cuestión se proporcionó una variable de respuesta múltiple, con diez opciones y en cada opción dos niveles (sí/no). **Figura 4.5.**



**Figura 4.5.** Tipos de cargas analizadas frecuentemente por los expertos consultados

A la vista de la **tabla 4.2**, el tipo de carga analizada con más frecuencia son las cajas; el resto de las opciones son menos usuales, suponiendo que su frecuencia esté relacionada con el sector de actividad en el que se desarrolla la tarea de levantamiento.



Tipo de carga / sector		Industria		Construcción		Servicios		Agricultura o pesca	
		No	Sí	No	Sí	No	Sí	No	Sí
Bandejas	No	20	98	98	20	53	65	108	10
	Sí	15	31	34	12	16	30	34	12
Cajas	No	12	29	34	7	23	18	39	2
	Sí	23	100	98	25	46	77	103	20
Cubos	No	28	121	123	26	66	83	130	19
	Sí	7	8	9	6	3	12	12	3
Sacos	No	22	75	85	12	51	46	89	8
	Sí	13	54	47	20	18	49	53	14
Bolsas	No	24	100	103	21	60	64	111	13
	Sí	11	29	29	11	9	31	31	9
Garrafas	No	29	114	119	24	65	78	126	17
	Sí	6	15	13	8	4	17	16	5
Bidones	No	30	104	115	19	62	72	121	13
	Sí	5	25	17	13	7	23	21	9
Componentes, piezas o productos acabados	No	29	60	77	12	35	54	80	9
	Sí	6	69	55	20	34	41	62	13
Equipos o herramientas	No	23	84	95	12	52	55	96	11
	Sí	12	45	37	20	17	40	46	11
Personas	No	30	128	127	31	69	89	136	22
	Sí	5	1	5	1	0	6	6	0

**Tabla 4.2.** Contingencia del tipo de carga y el sector analizado.

A continuación se muestran los resultados del análisis en la **tabla 4.3**, de la “deviance” de cada tipo de carga respecto al sector en el que se analizan los levantamientos cargas.

	Deviance	P(> Chi )
Bandejas	15,775	0,003
Cajas	13,615	0,009
Cubos	11,521	0,021
Sacos	19,059	0,001
Bolsas	11,577	0,021
Garrafas	9,294	0,054
Bidones	17,746	0,001
Componentes	19,401	0,001
Equipos	15,683	0,003
Personas	14,133	0,007

**Tabla 4.3.** Bondad de ajuste del modelo para cada tipo de carga con la variable sector.

De los contrastes de independencia entre todos los pares de niveles de las dos variables, se comprueba que las relaciones entre el sector y el tipo de carga levantada manualmente son significativas.

El levantamiento de bandejas (**tabla 4.4**) sólo está relacionado con los sectores industria y agricultura o pesca. Las predicciones que un experto que realice evaluaciones en estos sectores tenga que analizar una bandeja se muestra en la tabla siguiente:

<b>Bandejas</b>		<b>Agricultura o pesca</b>	
		<b>Sí</b>	<b>No</b>
Industria	Sí	<b>0,5234516</b>	0,1883575
	No	<b>0,7654841</b>	0,4081525

**Tabla 4.4.** Probabilidades de analizar el levantamiento de bandejas según sectores.

El levantamiento de cajas (**tabla 4.5**) está relacionado con todos los sectores de actividad, excepto con el de construcción. A continuación se muestran las probabilidades de analizar el levantamiento de cajas según los sectores de actividad:

<b>Industria: Sí</b>			<b>Industria: No</b>		
<b>Agricultura o pesca</b>			<b>Agricultura o pesca</b>		
Servicios	Sí	No	Servicios	Sí	No
Sí	<b>0,9519379</b>	<b>0,8612469</b>	Sí	<b>0,8638256</b>	<b>0,6653247</b>
No	<b>0,8603866</b>	<b>0,6588523</b>	No	0,663724	0,3821609

**Tabla 4.5.** Probabilidades de analizar el levantamiento de cajas según sectores.

Los cubos (**tabla 4.6**) sólo están relacionados con expertos que evalúan riesgos en industria y construcción, pero sin una probabilidad significativa de tener que analizar este tipo de cargas.

Cubos		Construcción	
		Sí	No
Industria	Sí	0,1478858	0,03820988
	No	0,4647995	0,1658323

**Tabla 4.6.** Probabilidades de analizar el levantamiento de cubos según sectores.

El análisis de levantamientos manuales de sacos (**tabla 4.7**) está relacionado con todos los sectores, excepto con industria; las probabilidades por sector se muestran a continuación:

Construcción: Sí			Construcción: No		
Agricultura o pesca			Agricultura o pesca		
Servicios	Sí	No	Servicios	Sí	No
Sí	<b>0,7838611</b>	<b>0,6118713</b>	Sí	<b>0,6380666</b>	0,4338541
No	<b>0,5915291</b>	0,3863133	No	0,4131306	0,2343043

**Tabla 4.7.** Probabilidades de analizar el levantamiento de sacos según sectores.

Las bolsas (**tabla 4.8**) están relacionadas con los sectores agricultura o pesca y servicios, pero sin una probabilidad significativa de tener que analizar este tipo de cargas.

Bolsas		Agricultura o pesca	
		Sí	No
Servicios	Sí	0,4764078	0,2959174
	No	0,2295792	0,1209925

**Tabla 4.8.** Probabilidades de analizar el levantamiento de bolsas según sectores

Las garrafas (**tabla 4.9**) están relacionadas con los expertos que trabajan en los sectores construcción y servicios, pero sin una probabilidad significativa de tener que analizar este tipo de cargas.

Garrafas		Servicios	
		Sí	No
Construcción	Sí	0,2748985	0,1155481
	No	0,1408491	0,0534728

**Tabla 4.9.** Probabilidades de analizar el levantamiento de garrafas según sectores.

Los bidones (**tabla 4.10**) sólo están relacionados con expertos cuya actividad está incluida en los sectores construcción y agricultura o pesca, con probabilidad significativa (0,59) de tener que analizar este tipo de cargas si realiza evaluaciones de riesgo en ambos sectores.

Bidones		Agricultura o pesca	
		Sí	No
Construcción	Sí	0,5993045	0,3307069
	No	0,2774046	0,1125524

**Tabla 4.10.** Probabilidades de analizar el levantamiento de bidones según sectores.

Analizar levantamientos de cargas como equipos o herramientas (**tabla 4.11**) sólo está relacionado con los sectores construcción y servicios, y hay una probabilidad significativa (entre 0,51 y 0,64) de tener que analizar este tipo de cargas si realiza evaluaciones en el sector de la construcción.

Equipos o herramientas		Servicios	
		Sí	No
Construcción	Sí	<b>0,6452568</b>	<b>0,515613</b>
	No	0,3320304	0,2253427

**Tabla 4.11.** Probabilidades de analizar el levantamiento de equipos o herramientas según sectores.

El tipo de cargas de componentes, piezas o productos acabados (**tabla 4.12**) está relacionado con el sector industria y con construcción, habiendo una probabilidad significativa (0,67) de encontrarse con este tipo de cargas si analiza riesgos en ambos sectores.

Componentes, piezas o productos acabados		Construcción	
		Sí	No
Industria	Sí	<b>0,6740823</b>	0,496294
	No	0,2814238	0,1572356

**Tabla 4.12.** Probabilidades de analizar el levantamiento de componentes, piezas o productos acabados según sectores.

El tipo de cargas personas tiene muy baja frecuencia en esta muestra y no permite un análisis de las relaciones porque los test no convergen a sus distribuciones asintóticas. Cabe notar que el levantamiento manual de personas queda fuera del alcance de este estudio dado que debido a sus particularidades, requiere la aplicación de otro tipo de metodologías para el análisis del riesgo asociado.

Recopilando las probabilidades significativas ( $> 0,5$ ) de analizar cada tipo de carga según los sectores donde se realicen las evaluaciones de riesgo (**tabla 4.13**), se puede deducir que las cajas es el tipo de carga con mayor probabilidad de analizarse en cualquier sector, excepto en construcción, donde los sacos, los equipos y herramientas y las componentes, piezas o productos acabados son los tipos de carga con mayor probabilidad.

Tipo de carga	Sectores analizados (prob. min - prob. max)
Bandejas	Agricultura o pesca (0,52 - 0,76)
Cajas	Industria y/o servicios y/o agricultura o pesca (0,66 - 0,95)
Sacos	Agricultura o pesca (0,41 - 0,78) Servicios y construcción (0,61 - 0,78)
Bidones	Construcción y agricultura o pesca (0,6 - 0,6)
Equipos o herramientas	Construcción (0,52 - 0,65)
Componentes, piezas o productos acabados	Industria y construcción (0,67 - 0,67)

**Tabla 4.13.** Probabilidades significativas de analizar cada tipo de carga según los sectores.

Para analizar la dependencia del tipo de carga con las fases o actividades del sistema productivo en que se manipulan, se ha determinado la matriz de frecuencias absolutas que se muestra en la **tabla 4.14**.

Tipo de carga / actividad		Acopio de material		Manip. de materias primas		Suministro a línea		Producción		Empaquet. y/o paletizado		Almacén		Distribución	
		No	Sí	No	Sí	No	Sí	No	Sí	No	Sí	No	Sí	No	Sí
Bandejas	No	71	47	65	53	88	30	80	38	64	54	65	53	89	29
	Sí	25	21	27	19	32	14	31	15	27	19	21	25	30	29
Cajas	No	26	15	24	17	32	9	25	16	34	7	30	11	34	7
	Sí	70	53	68	55	88	35	86	37	57	66	56	67	85	38
Cubos	No	90	59	89	60	107	42	102	47	83	66	77	72	108	41
	Sí	6	9	3	12	13	2	9	6	8	7	9	6	11	4
Sacos	No	63	34	62	35	69	28	64	33	55	42	59	38	76	21
	Sí	33	34	30	37	51	16	47	20	36	31	27	40	43	24
Bolsas	No	80	44	73	51	91	33	86	38	71	53	66	58	92	32
	Sí	16	24	19	21	29	11	25	15	20	20	20	20	27	13
Garrafas	No	87	56	85	58	105	38	97	46	81	62	76	67	107	36
	Sí	9	12	7	14	15	6	14	7	10	11	10	11	12	9
Bidones	No	82	52	80	54	100	34	93	41	76	58	73	61	101	33
	Sí	14	16	12	18	20	10	18	12	15	15	13	17	18	12
Componentes piezas o productos acabados	No	58	31	51	38	70	19	64	25	49	40	46	43	65	24
	Sí	38	37	41	34	50	25	47	28	42	33	40	35	54	21
Equipos o herramientas	No	71	36	60	47	77	30	70	37	61	46	60	47	82	25
	Sí	25	32	32	25	43	14	41	16	30	27	26	31	37	20
Personas	No	94	64	87	71	114	44	107	51	85	73	83	75	114	44
	Sí	2	4	5	1	6	0	4	2	6	0	3	3	5	1

**Tabla 4.14.** Contingencia del tipo de carga y la actividad del sistema productivo donde se manipulan.

A continuación se muestran los resultados en la **tabla 4.15** del análisis de la desviación de cada tipo de carga respecto a la actividad del proceso productivo donde se realizan las manipulaciones manuales.

Del test de independencia se deriva que en algunos tipos de carga levantados manualmente puede existir una relación con la actividad del sistema productivo donde se realiza la tarea, pero en la cargas de tipo bandeja se rechaza el modelo de relación.

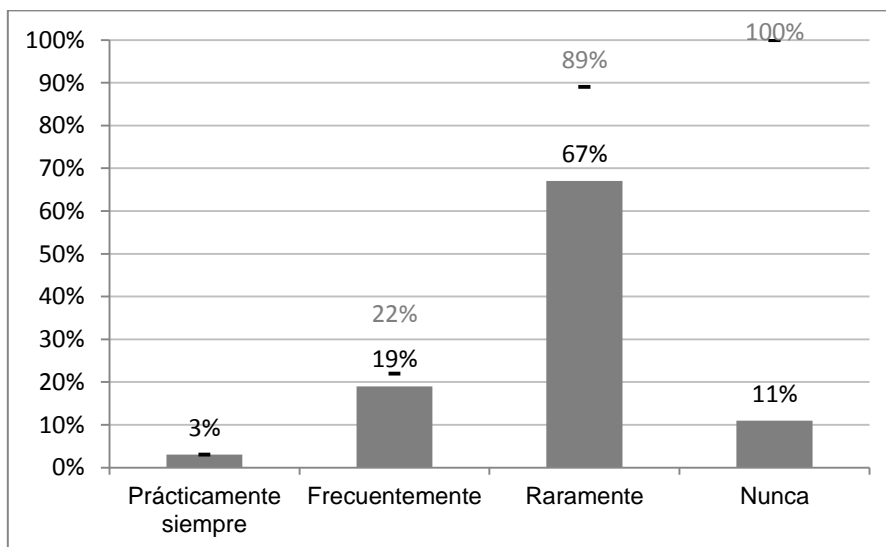
	Deviance	P(> Chi )
Bandejas	4,433	0,729
Cajas	29,026	0,000
Cubos	14,953	0,037
Sacos	15,793	0,027
Bolsas	10,006	0,088
Garrafas	10,302	0,072
Bidones	9,829	0,080
Componentes	9,584	0,021
Equipos	11,639	0,071
Personas	15,199	0,034

**Tabla 4.15.** Bondad de ajuste del modelo para cada tipo de carga con la variable actividad del proceso productivo.

### Calidad del agarre de las cargas

Por otro lado, para valorar la calidad del agarre que permiten las cargas se preguntó si las cargas levantadas manualmente en los puestos de trabajo tienen asas que permiten agarrarlas cómodamente.

En este caso estamos ante una variable categórica (**figura 4.6**) con cuatro opciones de respuesta.



**Figura 4.6.** Valoración de la presencia de agarres cómodos en las cargas analizadas.

Es posible concluir que la situación más frecuente es que las cargas no dispongan de asas para agarrarlas cómodamente a la hora de realizar el levantamiento manual, valorando el 78% de los encuestados que esta situación se presenta raramente o nunca.

Como se comprueba en la **tabla 4.16**, en general, del test de independencia se obtiene que esta característica de la carga, es independiente del tipo de carga.

	Bandejas	Cajas	Cubos	Sacos	Bolsas	Garrafas	Bidones	Componentes	Equipos	Personas
$\chi^2$	9,968	8,025	1,4181	9,348	6,006	4,819	4,51	3,17	0,8957	0,3836
GL	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3
P-valor	0,01884	0,0455	0,7013	0,02501	0,1113	0,1856	0,2114	0,3661	0,8957	0,9436

**Tabla 4.16.** Test de independencia entre la calidad de agarre y el tipo de carga.

Sólo se ha encontrado relación de la presencia de agarre cómodo para las cargas de tipo bandeja, caja y saco (3 de las 10 categorías de la variable), y para estos casos, no se ha encontrado ningún modelo logístico que refleje bien esta relación.

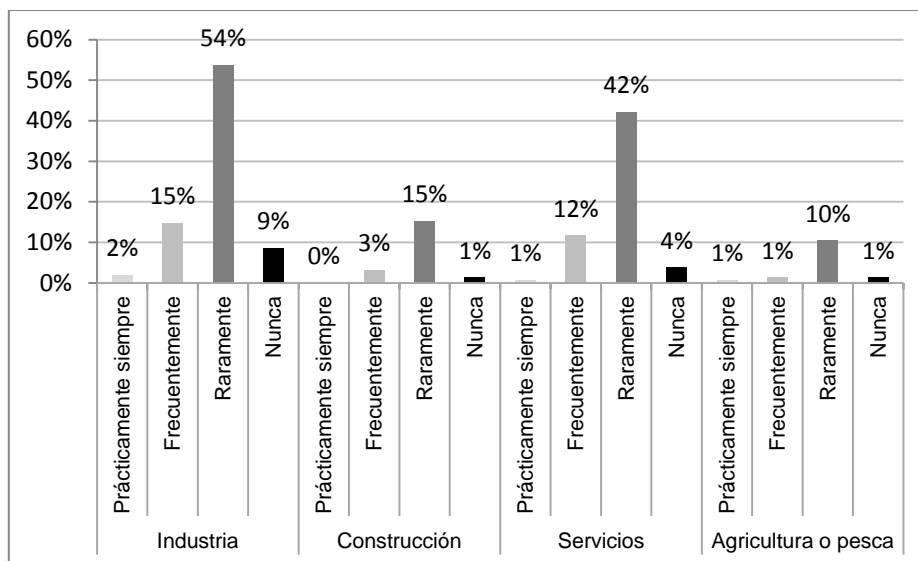
En la **figura 4.7**, se grafican los casos positivos para cada nivel de presencia de agarres cómodos según el sector analizado.

Del test de independencia (**tabla 4.17**), se obtiene que el sector de actividad donde se realizan los análisis de tareas de levantamiento manual de cargas no influye en que las cargas tengan asas para agarrarlas cómodamente o no.

	Industria	Construcción	Servicios	Agricultura o pesca
$\chi^2$	1,1029	2,8162	8,595	1,7903
GL	3	3	3	3
P-valor	0,7764	0,4208	0,03519	0,6171

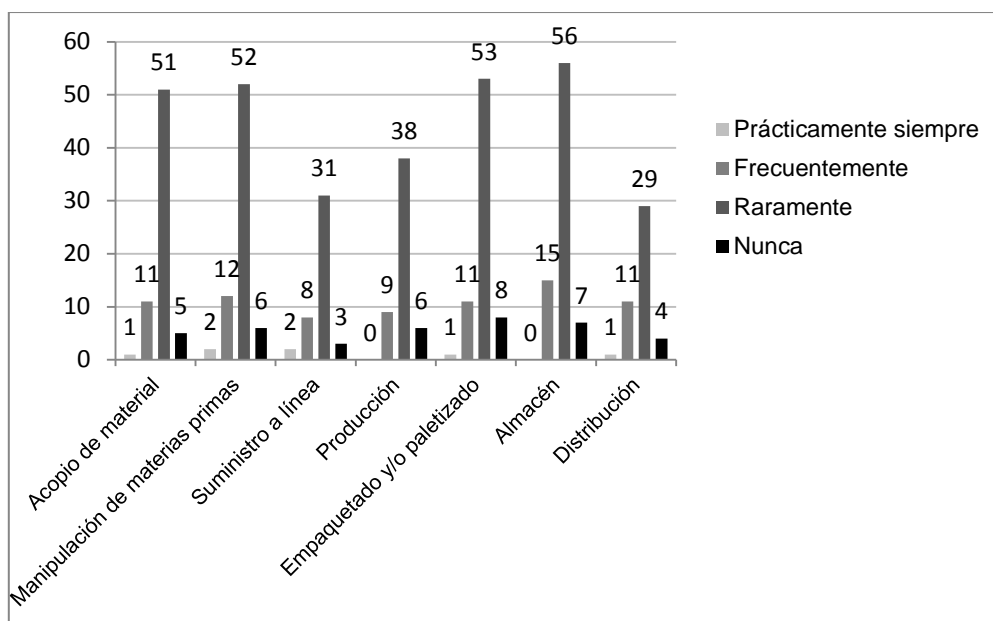
**Tabla 4.17.** Test de independencia entre la variable presencia de agarre de calidad y sector analizado.





**Figura 4.7.** Frecuencias de casos positivos según la presencia de agarres de cómodos en las cargas levantadas y el sector de actividad analizado.

En la **figura 4.8** se grafican los casos positivos (en %) de la presencia de agarres cómodos en las cargas según la fase o actividad del sistema productivo donde se manipulan las cargas.



**Figura 4.8.** Casos positivos de presencia de agarres cómodos según la fase del sistema productivo donde se manipulan.

De los resultados del test de independencia (**tabla 4.18**) se puede afirmar que la actividad o fase del sistema productivo tampoco influye en la frecuencia de la presencia o no, de agarres cómodos en las cargas.

	Acopio de material	Manipulación de materias primas	Suministro a línea	Producción	Empaquetado y/o paletizado	Almacén	Distribución
$\chi^2$	3,541	1,4236	1,4574	2,656	2,4345	5,521	1,7641
GL	3	3	3	3	3	3	3
P-valor	0,3154	0,7	0,6921	0,4477	0,4872	0,1374	0,6228

**Tabla 4.18.** Test de independencia entre la variable presencia de agarre de calidad y actividad del sistema productivo donde se manipula la carga.

## Características de las evaluaciones del riesgo

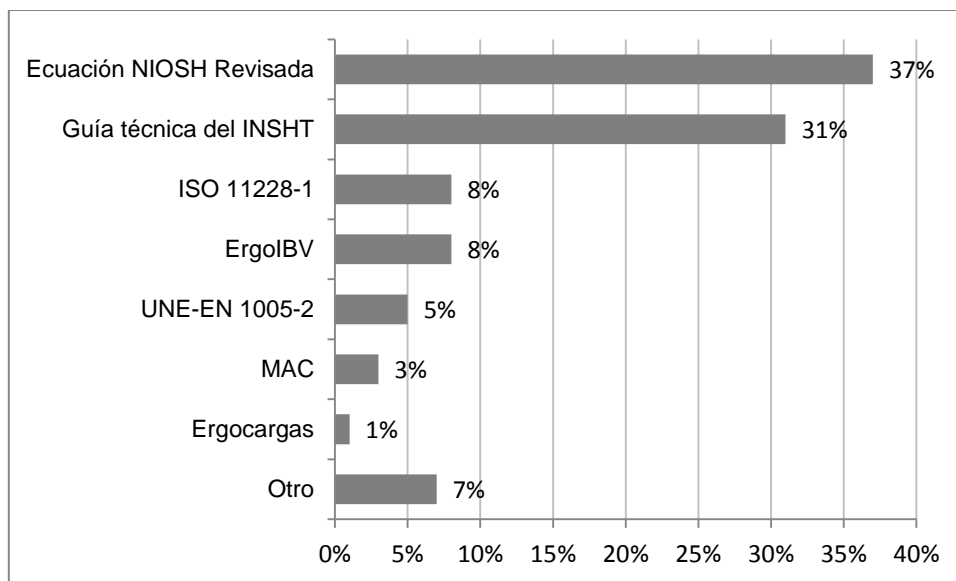
### Método de evaluación utilizado

En primer lugar, la característica más relevante sobre la evaluación del riesgo es la metodología utilizada.

En la **figura 4.9** se pueden ver que los métodos más utilizados por los individuos encuestados son la Ecuación NIOSH Revisada y la guía técnica del INSHT, representando el 37% y el 31% de los encuestados respectivamente; el resto de métodos no son significativos, teniendo un uso menor al 10%.

Cabe anotar que todos los métodos mencionados, excepto el método MAC (3%) y la categoría otros (7%), el resto de metodologías están todas basadas en la Ecuación NIOSH revisada, utilizadas por el 90% de los expertos consultados.

Del test de independencia (**tabla 4.19**) se deriva que el método de evaluación utilizado está fuertemente relacionado con todos los sectores de actividades en los que se realizan evaluaciones de riesgos específicas por levantamiento manual de cargas, exceptuando el sector servicios.



**Figura 4.9.** Frecuencia de uso de los diferentes métodos de evaluación del riesgo por levantamiento manual de cargas.

	Industria	Construcción	Servicios	Agricultura o pesca
$\chi^2$	15,032	18,488	6,974	18,688
GL	7	7	7	7
P-valor	0,03559	0,009952	0,4316	0,009225

**Tabla 4.19.** Test de independencia entre el método de evaluación utilizado y los sectores donde se realizan las evaluaciones.

Tras ajustar el modelo logístico multinomial tomando cada sector como variable explicativa, el único sector que tiene una relación significativa con el método de evaluación es construcción.

Dicha relación queda explicada en la **tabla 4.20** de previsiones:

	Sector: Construcción.	
	No	Sí
Ecuación NIOSH Revisada	0,3182	<b>0,5625</b>
Ergocargas	0,0076	0,0000
ErgoIBV	0,1061	0,0312
Guía técnica del INSHT	0,3561	0,1562
ISO 11228-1	0,0985	0,0000
MAC	0,0152	0,0937
Otro	0,0530	0,0938
UNE-EN 1005-2	0,0455	0,0625

**Tabla 4.20.** Probabilidades de uso de cada método de evaluación según se realicen evaluaciones en el sector construcción o no.

La relación entre estas variables explica que la realización de evaluaciones de riesgo en el sector de la construcción comporta una probabilidad significativa (0,56) de utilizar el método de evaluación de la Ecuación NIOSH Revisada.

Respecto a la influencia del tipo de organización donde trabaja el experto y el método de evaluación del riesgo utilizado, se ha obtenido (**tabla 4.21**) que sí que existe una relación entre ambas variables.

$\chi^2$	61,84
GL	42
P-valor	0,02469

**Tabla 4.21.** Test de independencia entre el método de evaluación utilizado y el tipo de organización donde ejerce el experto.

Dicha relación queda plasmada, en la **tabla 4.22** de probabilidades.

Como se deriva de la tabla de previsiones, las únicas probabilidades significativas presentes en esta relación van dirigidas al uso de la Ecuación NIOSH Revisada y de la Guía técnica del INSHT

	Administración	Consultoría	En paro	Otro	S.P. ajeno	S.P. propio	Universidad
Ecuación NIOSH Revisada	<b>0,6364</b>	0,4286	0	<b>1</b>	0,3016	0,3906	0,3077
Ergocargas	0	0	0	0	0,0159	0	0
ErgoIBV	0	0	0,2500	0	0,1587	0	0
Guía técnica del INSHT	0,2727	0,1429	<b>0,5000</b>	0	0,2698	0,4375	0,0769
ISO 11228-1	0	0,2857	0	0	0,0952	0,0312	0,2308
MAC	0	0,1429	0	0	0,0476	0	0,0769
Otro	0	0	0	0	0,0635	0	0,3077
UNE-EN 1005-2	0,0909	0	0,2500	0	0,0476	0,0469	0

**Tabla 4.22.** Probabilidades de uso de cada método de evaluación según el tipo de organización donde trabaja el experto.

Del test de independencia con la experiencia del experto obtenemos un p-valor de 0.2698, por lo que no es posible rechazar la independencia entre ambas variables; por tanto, es posible afirmar (**tabla 4.23**) que no influyen los años de experiencia en prevención de riesgos laborales en los métodos de evaluación más utilizados.

	Años de experiencia	Formación universitaria
$\chi^2$	16,749	85,88
GL	14	77
P-valor	0,2698	0,2288

**Tabla 4.23.** Test de independencia entre el método de evaluación utilizado, los años de experiencia del experto y su formación universitaria

Del test de independencia con la formación universitaria de base del experto obtenemos un p-valor de 0.2288, por lo que no es posible rechazar la independencia entre ambas variables; por tanto, es posible afirmar que no influye la forma-

ción universitaria del experto en el método de evaluación utilizado.

Si se considera que los métodos Guía técnica del INSHT, UNE-EN 1005-2, ISO 11228-1 y ERGOIBV utilizan el método de la Ecuación NIOSH Revisada como base, y por tanto se les puede valorar como el mismo método, al repetir los análisis de independencia con las otras variables obtenemos los siguientes resultados en la **tabla 4.24**.

	$\chi^2$	GL	P-valor
Tipo de organización donde trabaja	25,627	18	0,1086
Años de experiencia	11,45	6	0,07542
Formación universitaria	36,3	33	0,3175

**Tabla 4.24.** Test de independencia entre el método de evaluación utilizado, considerando los métodos análogos como el mismo, y las variables que caracterizan al experto.

Bajo este análisis, es posible derivar que el método de evaluación utilizado no depende ni de los años de experiencia, ni del tipo de organización donde trabaja ni de la formación universitaria del experto.

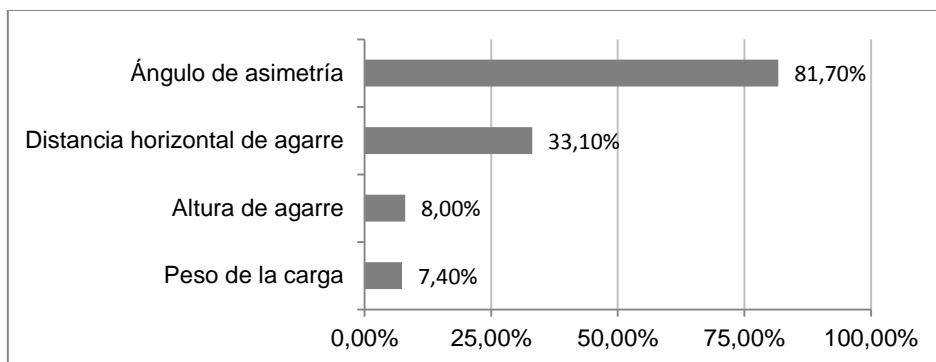
### **Dificultad de medir los parámetros de evaluación**

Todas estas metodologías requieren determinar los valores de diversos parámetros, como el peso de la carga, la altura y la distancia horizontal de agarre de la carga en el levantamiento y el ángulo de asimetría realizado.

Dado que el resultado de la evaluación es altamente sensible al valor de cada uno de estos parámetros, su medición de forma precisa es otra cuestión clave.

Para valorarlo, se preguntó para cada parámetro si, desde el punto de vista práctico, es difícil de medir de forma precisa.

Como se muestra en la **figura 4.10**, la gran mayoría de expertos encuentran dificultades para medir de forma precisa el ángulo de asimetría realizado en el levantamiento (81,7%), y el segundo parámetro considerado más difícil de medir es la distancia horizontal de agarre (33,1%).



**Figura 4.10.** Porcentaje de expertos que afirman dificultad de medir de forma precisa cada uno de los parámetros del levantamiento manual.

De la matriz de frecuencias de relación entre la dificultad de medir los parámetros y el sector de actividad (**tabla 4.25**), se deriva que sólo se rechaza la independencia para los parámetros “Altura de agarre” y “Ángulo de asimetría”.

Dificultad parámetro / Sector		Industria		Construcción		Servicios		Agricultura o pesca	
		No	Sí	No	Sí	No	Sí	No	Sí
Peso de la carga	No	30	121	121	30	66	85	131	20
	Sí	5	8	11	2	3	10	11	2
Altura de agarre	No	30	124	123	31	64	90	132	22
	Sí	5	5	9	1	5	5	10	0
Distancia horizontal de agarre	No	20	88	88	20	45	63	91	17
	Sí	15	41	44	12	24	32	51	5
Ángulo de asimetría	No	11	18	28	1	13	16	29	0
	Sí	24	111	104	31	56	79	113	22

**Tabla 4.25.** Tabla de contingencia de la dificultad de medir cada parámetro y los sectores de actividad en los que se realizan las evaluaciones de riesgo.

Del análisis de explicación de la dificultad de medir el parámetro altura de agarre, y tras ajustar el modelo con la variable sector, se obtiene (**tabla 4.26**) que el parámetro está relacionado con los sectores industria y servicios.

Dificultad de medir la altura de agarre		Servicio	
		Sí	No
Industria	Sí	0,0166	0,0599
	No	0,1236	0,348

**Tabla 4.26.** Probabilidades de la dificultad de medir de forma precisa la altura de agarre según los sectores analizados.

Dado que ninguna probabilidad es significativa, es posible derivar que el parámetro altura de agarre no comporta una dificultad significativa para medirse ni en el sector servicios ni en la industria.

La dificultad de medir el ángulo de asimetría se explica por todos los sectores, excepto el sector servicios. **Tabla 4.27.**

Industria: Sí			Industria: No		
Agricultura			Agricultura		
Construcción	Sí	No	Construcción	Sí	No
Sí	<b>1,000</b>	<b>0,9647</b>	Sí	<b>1,000</b>	<b>0,9179</b>
No	<b>1,000</b>	<b>0,8075</b>	No	<b>1,000</b>	<b>0,632</b>

**Tabla 4.27.** Probabilidades de la dificultad de medir de forma precisa el ángulo de asimetría según los sectores analizados.

Todas las probabilidades son significativas, por lo que es posible derivar que en todos los sectores, seguramente se encontrará dificultad en medir el ángulo de asimetría.

Por otro lado, las variables que caracterizan al experto (experiencia, organización donde trabaja y formación universitaria) podrían influir en los parámetros que encuentra dificultad en su medición. Tras realizar los test de independencia, se obtiene (**tabla 4.28**) que la dificultad en medir los parámetros es independiente del tipo de organización donde trabaja y de los años de experiencia.



Variable (Grados de libertad): Parámetro difícil de medir	Organización (GL=6)		Experiencia (GL=2)		Formación (GL=11)	
	$\chi^2$	P-valor	$\chi^2$	P-valor	$\chi^2$	P-valor
Peso de la carga	4,205	0,649	21,018	0,3496	5,656	0,8953
Altura de agarre	4,165	0,6544	0,5228	0,77	14,469	0,2081
Distancia horizontal de agarre	6,022	0,4208	0,5917	0,7439	22,463	<b>0,02102</b>
Ángulo de asimetría	3,835	0,6989	0,13863	0,933	12,558	0,3232

**Tabla 4.28.** Test de independencia entre cada variable que caracteriza al experto y la dificultad de medir cada parámetro.

Sólo se rechaza la independencia entre la dificultad de medir la distancia horizontal de agarre y la formación universitaria base del experto.

Tras realizar el ajuste del modelo logístico para explicar ese parámetro, se obtiene que las probabilidades de encontrar dificultad de medir la distancia horizontal de agarre según la formación son 0,052 en ingeniería, 0,052 en medicina, 0,111 en psicología y 0,267 en relaciones laborales.

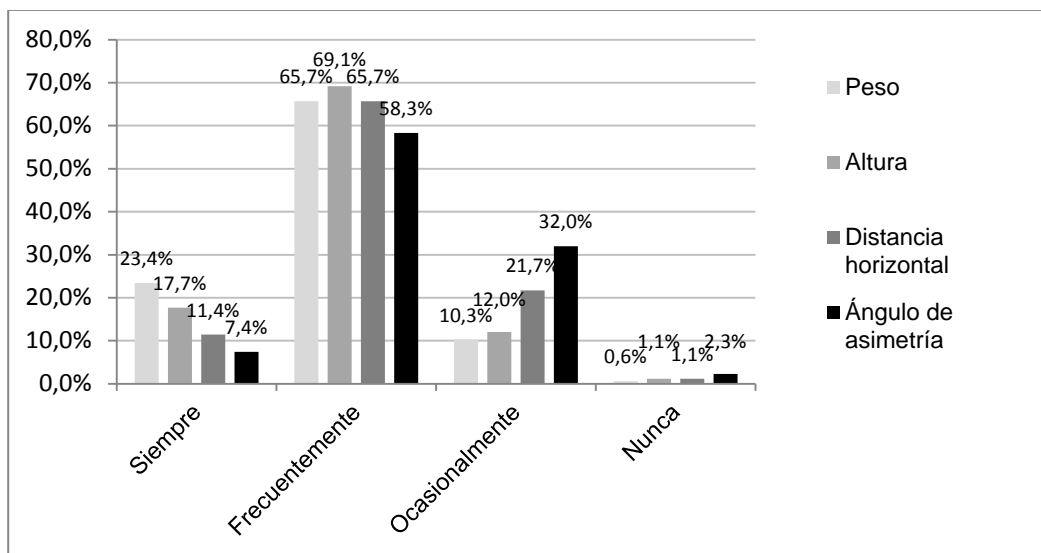
## Variabilidad de los parámetros

Otro factor que puede dificultar el análisis del riesgo, debido a la limitación de los métodos de evaluación, es la variabilidad de los parámetros que definen la exposición al riesgo.

Para valorar si los expertos deben enfrentarse frecuentemente o no al análisis de casos donde los parámetros que definen la exposición son variables (**figura 4.10**), se les preguntó sobre la frecuencia de variación de cada uno de los parámetros.

Atendiendo a las respuestas de los expertos, se deriva que es muy frecuente la presencia de tareas de levantamiento manual de cargas donde el peso, la altura de agarre, la distancia horizontal de agarre y el ángulo de asimetría realizado son variables.

Considerando las respuestas que esta condición de trabajo está presente siempre o frecuentemente, los porcentajes de expertos que lo afirman son 89,1% para el peso, 86,9% para la altura de agarre, 77,1% para la distancia horizontal y 65,7% para el ángulo de asimetría.

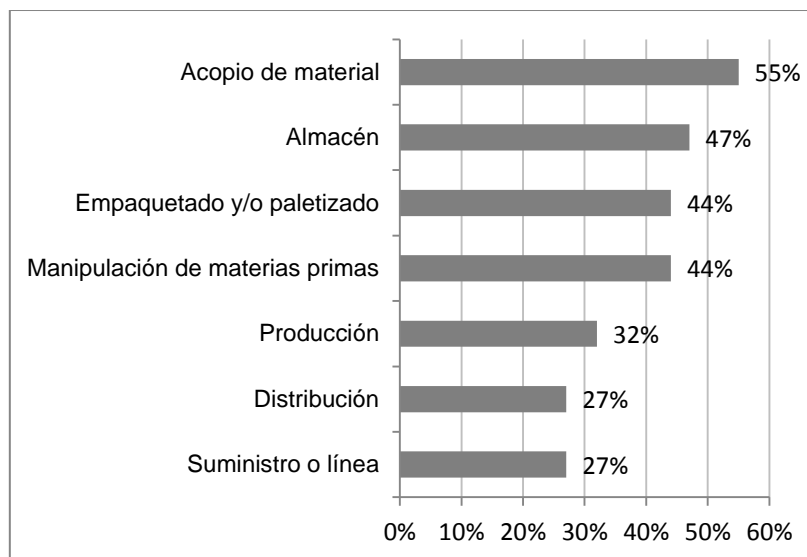


**Figura 4.11.** Valoración de la frecuencia de variación de cada uno de los parámetros que caracterizan la exposición al riesgo.

Analizando la presencia relativa de la variabilidad en cualquiera de los cuatro parámetros según la actividad del proceso productivo donde se realiza el levantamiento manual de cargas, se obtiene en la **figura 4.12**, que la mayor variabilidad se presenta en las actividades de acopio de material, de almacén, de manipulación de materias primas y de empaquetado y/o paletizado.

De todas formas, cabe anotar que en valores absolutos, el mayor porcentaje de afirmaciones de la presencia de esta variabilidad se ha realizado en las actividades de almacén.

La presencia de la variabilidad en estos parámetros se ha encontrado que es independiente del tipo de carga levantada, tal y como se muestra en la **tabla 4.29**.



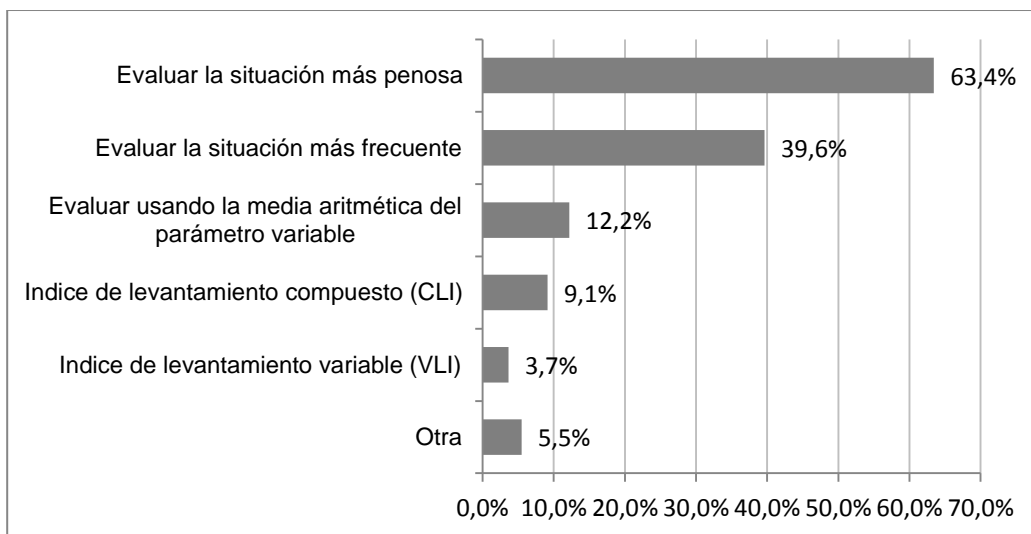
**Figura 4.12.** Presencia de la variabilidad en cualquiera de los cuatro parámetros según la actividad donde se realiza el levantamiento.

	LR stat.	Pr(Chi)
Peso	27,205	0,6125
Altura de agarre	51,348	0,4541
Distancia horizontal de agarre	46,436	0,2218
Ángulo de asimetría	28,456	0,5463

**Tabla 4.29.** Análisis del modelo de dependencia entre la presencia de variabilidad en cada uno de los parámetros y la variable tipo de carga.

### Estrategia de análisis utilizada ante la variabilidad

Ante la pregunta qué estrategia de análisis se utiliza para caracterizar la exposición del riesgo en los casos donde los parámetros varían entre levantamientos, se han podido categorizar las respuestas en cinco opciones múltiples, dejando sólo 9 casos en la categoría otra, ilustrado en la **figura 4.13**.



**Figura 4.13.** Frecuencia de uso de las distintas estrategias de análisis de la variabilidad de la exposición.

La estrategia más utilizada ante tareas que comportan variabilidad en alguno de los parámetros es analizar la situación considerada más penosa (63,4%), seguida de analizar la situación considerada la más frecuente (39,6%).

Respecto a la influencia del sector donde se realiza el análisis sobre la estrategia utilizada (**tabla 4.30**), no se puede rechazar la hipótesis de independencia para cada tipo de estrategia ( $p > 0,01$ ).

	$\chi^2$	P-valor
Evaluar la situación más frecuente	11,088	0,0857
Evaluar la situación más penosa	10,402	0,1087
Evaluar usando la media aritmética del parámetro variable	4,663	0,5877
CLI	12,538	0,0510
VLI	21,424	0,9061
Otra	5,266	0,5102

**Tabla 4.30.** Test de independencia entre cada tipo de estrategia y el sector donde se realizan las evaluaciones.

Respecto a la influencia del tipo de organización donde trabaja el experto sobre la estrategia utilizada, la independencia de las variables no son muy claras (**tabla 4.31**), ya que para niveles de confianza del 90% podemos suponer que la relación de independencia de estas variables sí que es significativa.

	$\chi^2$	P-valor
Evaluar la situación más frecuente	11,088	0,08569
Evaluar la situación más penosa	10,402	0,1087
Evaluar usando la media aritmética del parámetro variable	4,663	0,5877
CLI	12,538	0,5098
VLI	21,424	0,9061
Otra	5,266	0,5102

**Tabla 4.31.** Test de independencia entre la estrategia utilizada y el tipo de organización en la que ejerce el experto (GL=6).

De todas formas, dado que para las estrategias más frecuentemente utilizadas, el p-valor es bajo, se ha probado de ajustar el modelo logístico, obteniendo una relación de dependencia significativa para ambos casos con el tipo de organización donde ejerce el experto, quedando explicadas con las siguientes probabilidades en la **tabla 4.32**.

Estrategia utilizada / Organización	Administración	Consultoría	En paro	Otro	S.P. Ajeno	S.P. Propio	Universidad
Evaluar la situación más frecuente	0,3636	0	0,25	1	0,3651	0,4219	<b>0,6154</b>
Evaluar la situación más penosa	0,3636	<b>0,8571</b>	1	0,5	<b>0,6349</b>	<b>0,5938</b>	<b>0,8462</b>

**Tabla 4.32.** Probabilidades de utilizar cada una de las estrategias de análisis según el tipo de organización donde ejerce el experto.

Como se puede notar, las probabilidades significativas van dirigidas al uso de la evaluación de la situación más penosa, excepto con los expertos que ejercen en universidades, los que frecuentemente utilizan ambas estrategias.

Respecto a la influencia de los años de experiencia en la estrategia utilizada, del test de independencia (**tabla 4.33**) se puede derivar que son dos variables independientes.

	$\chi^2$	P-valor
Evaluar la situación más frecuente	0,411	0,8142
Evaluar la situación más penosa	23,008	0.3165
Evaluar usando la media aritmética del parámetro variable	3,576	0,1673
CLI	16,295	0,4428
VLI	26,569	0,2649
Otra	17,795	0,4108

**Tabla 4.33.** Test de independencia entre la estrategia utilizada y los años de experiencia del experto (GL=2).

Por otro lado, se puede afirmar que la formación universitaria base del experto en ningún caso influye en la estrategia utilizada para evaluar la variabilidad en los pesos, las alturas, las distancias horizontales y las asimetrías (**tabla 4.34**).

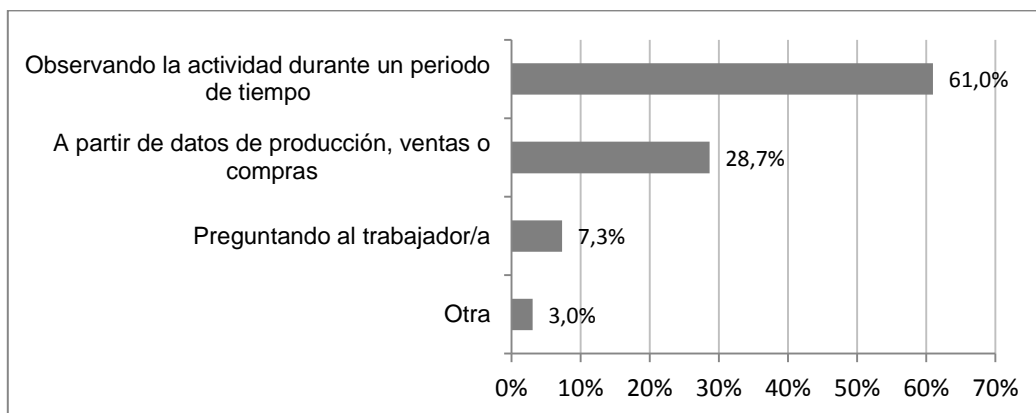
	$\chi^2$	P-valor
Evaluar la situación más frecuente	7,907	0,7216
Evaluar la situación más penosa	9,56	0,5704
Evaluar usando la media aritmética del parámetro variable	9,948	0,5351
CLI	9,417	0,5835
VLI	4,707	0,9445
Otra	7,888	0,7233

**Tabla 4.34.** Test de independencia entre la estrategia utilizada y la formación universitaria base del experto (GL=11).

### Técnica para determinar la frecuencia de levantamientos

Las respuestas múltiples a la pregunta cómo se suele determinar la frecuencia de levantamientos se ha podido categorizar en tres opciones: observando la actividad durante un periodo de tiempo, preguntando a la persona trabajadora y a partir de datos de producción, ventas o compras.

En la **figura 4.14** se representa que la mayoría de los expertos consultados (61%) afirman observar la actividad durante un periodo de tiempo para determinar la frecuencia.



**Figura 4.14.** Porcentaje de uso de cada una de las técnicas para determinar la frecuencia de levantamientos cuando se evalúa un caso.

Del test de independencia (**tabla 4.35**), se puede afirmar con evidencias estadísticas significativas que el tipo de organización donde ejerce el experto, sus años de experiencia y su formación universitaria base no influyen en la forma de determinar la frecuencia de levantamientos.

	Tipo de organización		Años de experiencia		formación	
	$\chi^2$	P-valor	$\chi^2$	P-valor	$\chi^2$	P-valor
Observando la actividad durante un periodo de tiempo	6,811	0,3387	0,12507	0,9394	12,766	0,3089
A partir de datos de producción, ventas o compras	4,937	0,5519	0,7399	0,6908	17,475	0,09459
Preguntando al trabajador/a	5,135	0,5266	0,21044	0,9001	16,192	0,1342

**Tabla. 4.35.** Test de independencia entre la forma de determinar la frecuencia, el tipo de organización donde ejerce el experto (GL=6), sus años de experiencia (GL=2) y su formación universitaria (GL=11).

# Discusión y conclusiones

Por definición, la disciplina de la ergonomía es multidisciplinar y está siendo ejercida por profesionales de diferente perfil profesional. La muestra de expertos considerada en este estudio tiene una presencia predominante de perfiles de ingeniería (45,1%). Sin conocer si esta característica es representativa de la población de profesionales que ejercen actualmente en el ámbito de la ergonomía laboral, este hecho puede haber sesgado las valoraciones realizadas, especialmente respecto a metodologías y estrategias utilizadas.

Aún así, cabe anotar que la práctica de esta disciplina está regulada en la mayoría de países considerados y requiere formación de postgrado específica, hecho que ayuda a uniformar los criterios de los profesionales en sus valoraciones, independientemente de la formación universitaria de grado que tengan.

El 86% de los expertos consultados desarrollan su actividad en empresas o departamentos especializados en el ámbito de prevención de riesgos laborales, realizando evaluaciones de riesgo de puestos de trabajo como parte de sus funciones. De esta forma, queda asegurada su visión pragmática y la precisión de sus valoraciones sobre los aspectos que caracterizan la práctica de la disciplina, en concreto, del análisis de levantamientos manuales de carga.

Las evaluaciones de riesgo por levantamiento manual de cargas se están realizando principalmente en los sectores de industria (78,9% de los consultados) y servicios (57,1%), siendo la construcción, la agricultura y la pesca sectores minoritarios en esta práctica. Que pocos profesionales hayan realizado evaluaciones en actividades de agricultura o pesca se puede explicar por el hecho que la masa laboral activa en esos sectores es muy pequeña respecto a los otros sectores. Pero en construcción, donde la población activa es significativa y el levantamiento manual de cargas es una operación ampliamente presente, el hecho que sólo el 19,4% de los consultados haya realizado evaluaciones de riesgo por levantamiento manual de cargas es un dato preocupante y un posible indicador de incumplimiento del marco normativo.

Los tipos de cargas que se analizan más frecuentemente son: cajas (74,9%), con una probabilidad mayor a 0,86 si se analizan riesgos en industria y servicios;



componentes o productos (44,6%), con probabilidad mayor a 0,67 si se analiza industria y construcción; sacos (41,1%), con probabilidad mayor a 0,78 si analiza construcción, servicios y agricultura y pesca; y bandejas (38,9%), con una probabilidad mayor a 0,76 si sólo se analizan riesgos en agricultura o pesca. También los equipos o herramientas, especialmente si se analizan los riesgos en el sector de la construcción ( $\text{prob}>0,51$ ), y los bidones si se analizan los riesgos en construcción y agricultura o pesca ( $\text{prob}>0,6$ ).

Las cargas, en general, no disponen de asas que permitan agarrarlas cómodamente, representando el 78% de las valoraciones de los encuestados. Esta característica no depende del tipo de carga ( $p>0,1$ ), ni del sector de actividad donde se realiza el trabajo ( $p>0,1$ ), ni de la fase o actividad dentro del sistema productivo donde se realiza el levantamiento ( $p>0,1$ ).

Respecto a la práctica de los profesionales al evaluar el riesgo relativo al levantamiento manual de cargas, ha quedado patente que el método de evaluación más extendido es la Ecuación NIOSH Revisada. Aunque sólo el 37% de los consultados ha afirmado utilizar este método, otra parte significativa (49%) se ha referido a un documento técnico, como la Guía técnica del INSHT o las normas técnicas UNE-EN 1005-2 e ISO 11228-1, que presentan el modelo más sencillo de la Ecuación NIOSH Revisada (el índice de levantamiento simple) como método de evaluación.

El uso extendido de este método de evaluación, en general, no depende del sector donde se realizan los análisis de riesgos; sólo se ha podido ajustar el modelo de dependencia con el sector de la construcción, proporcionando una probabilidad mayor a 0,56 de utilizar dicho método.

El método de evaluación utilizado depende del tipo de organización donde ejerce el experto consultado. Mientras que en la Administración se hace un uso más generalizado de la Ecuación NIOSH Revisada ( $\text{prob}>0,63$ ), en los Servicios de Prevención Propio y Ajenos, la Guía técnica del INSHT tiene una presencia significativa. Dado que esta guía expone el modelo sencillo de la Ecuación NIOSH Revisada, la probabilidad que en un Servicio de Prevención Ajeno se referencie el uso de uno de estos métodos es mayor a 0,56, y la probabilidad que se haga en un Servicio de Prevención Propio es superior a 0,82. Cabe notar que el método ISO 11228-1, siendo una norma técnica y por tanto, un documento más complejo

de interpretar, que actualmente sólo está disponible en inglés, las probabilidades mayores de uso se encuentran en las consultorías ( $\text{prob}>0,28$ ) y universidades ( $\text{prob}>0,23$ ).

Es posible afirmar que el método de evaluación utilizado no depende ni de la formación universitaria de grado ( $p>0,22$ ), ni de los años de experiencia del experto ( $p>0,26$ ).

Para realizar la evaluación del riesgo, la gran mayoría de los expertos consultados ha manifestado dificultad en medir de forma precisa el ángulo de asimetría (81,7%) y la distancia horizontal de agarre (33,1%). Señalar el ángulo de asimetría como un parámetro difícil de medir depende de los sectores donde se realizan evaluaciones, llegando a probabilidades de 1 para los expertos que realizan evaluaciones en los sectores de industria, construcción y agricultura o pesca.

Se ha encontrado que la valoración sobre la dificultad de medir los parámetros del levantamiento no depende del tipo de organización donde trabaja el experto ( $p>0,4$ ) ni de los años de experiencia ( $p>0,3$ ). Respecto a la formación universitaria, sólo se ha encontrado relación con la dificultad de medir la distancia horizontal de agarre, donde los profesionales con formación en relaciones laborales y psicología tienen mayor probabilidad de presentar esta dificultad (0,26 y 0,11, respectivamente) que los de ingeniería y medicina ( $\text{prob}=0,05$ ). De todas formas, considerando que el 57,7% de la muestra de expertos son del área de ingeniería o medicina, y tan solo el 14,8% de relaciones laborales o psicología, no se pudo derivar ninguna conclusión de esta relación.

Otra dificultad manifestada mayoritariamente por los expertos es la variabilidad de los parámetros a considerar en la evaluación del riesgo. Más del 89% manifiesta que frecuentemente o siempre varía al menos uno de los parámetros que caracteriza la exposición al riesgo. Las actividades del sistema productivo donde se presenta con mayor frecuencia esta variabilidad son acopio de material (55%), almacén (47%), empaquetado y/o paletizado (44%) y manipulación de materias primas (44%). La variabilidad en los parámetros que definen los levantamientos no depende del tipo de carga ( $p>0,22$ ).

Respecto a la estrategia que el profesional utiliza para evaluar el nivel de riesgo ante tareas de levantamiento manual de cargas cuyos parámetros sean variables,

la práctica más extendida es evaluar la situación más penosa (63,4%), seguida de evaluar la situación más frecuente (39,6%). Para estas dos estrategias se ha encontrado relación de dependencia con el tipo de organización donde ejerce el profesional, donde se destaca que curiosamente, que las consultorías tienen una tendencia a evaluar la situación más penosa ( $\text{prob}=0,85$ ) y no evalúan la situación más frecuente ( $\text{prob}=0$ ); mientras que las universidades usan ampliamente ambas estrategias ( $\text{prob}=0,84$  y  $0,61$ , respectivamente); los servicios de prevención, tanto ajenos como propios, tienden a usar la estrategia de evaluar la situación considerada más penosa ( $\text{prob}=0,63$  y  $0,59$ , respectivamente).

Es posible afirmar que ni los años de experiencia ni la formación universitaria de grado influyen en el tipo de estrategia que usan los profesionales para analizar los casos de alta variabilidad ( $p>0,16$  y  $0,53$ , respectivamente).

El uso de esta estrategia tan extendida va a comportar evaluaciones de riesgo que subvaloran o sobrevaloran el nivel de riesgo, dependiendo de la forma de aplicarla. Si se considera únicamente el levantamiento considerado más penoso, y se omiten los otros levantamientos que realiza la persona trabajadora, se subvalorará el nivel de riesgo; si, en cambio, se consideran todos los levantamientos, asumiendo que todos ellos se realizan en las condiciones más penosas, como resultado, se sobrevalorará el nivel de riesgo. Sería necesario indagar sobre los criterios utilizados de aplicación de esta estrategia para conocer si en general, se está sobrevalorando o subvalorando el nivel de riesgo.

Otro parámetro del análisis del riesgo que tiene un impacto directo sobre el resultado es el ritmo de trabajo, es decir, la frecuencia de levantamientos, entendida como el número de levantamientos por minuto que realiza la persona trabajadora. La técnica más extendida para determinar este parámetro es la observación de la actividad durante un periodo de tiempo (61% de los profesionales), sin influencia de sus años de experiencia, de su formación universitaria, ni del tipo de organización donde está ejerciendo su profesión.

Considerando que, normalmente, los periodos de observación de la actividad no son muy extensos debido al coste que comporta, esta técnica para determinar el ritmo de trabajo no parece muy recomendable, excepto en los casos donde, debido a la imposición del ritmo por el sistema productivo, se mantiene bastante estable con el tiempo. Una técnica que puede proporcionar una estimación más

precisa del ritmo medio de trabajo, mediante su cálculo a partir de datos de producción, ventas o compras, sólo es utilizada por el 28,7% de los profesionales. Ante la dificultad de obtener estos datos en ocasiones, la persona trabajadora puede facilitar buenas estimaciones, pero esta técnica sólo la utiliza el 7,3% de los profesionales.

Dada la frecuencia de análisis de tareas de levantamiento manual de cargas con condiciones variables y las estrategias y técnicas más extendidas para afrontarlas, queda patente la necesidad de desarrollar modelos de análisis que permitan evaluar las exposiciones de alta variabilidad de una manera más precisa, así como de incrementar los esfuerzos en su difusión y formación.

# Valoración de los levantamientos manuales de cargas y su evaluación del riesgo por los delegados de prevención

---

## Objetivos

En este estudio, se pretende responder a las siguientes preguntas a partir de la valoración de los levantamientos manuales de cargas y su evaluación del riesgo por delegados de prevención:

Sobre los levantamientos manuales de cargas

- ¿Con qué frecuencia se presenta este requerimiento de trabajo en las empresas?
  - ¿depende del sector de actividad?
  - ¿en qué actividades del sistema productivo está más presente?
- ¿Son frecuentes los casos de levantamientos donde la altura de agarre de la carga es variable?
  - ¿depende del sector de actividad?
  - ¿depende de la actividad dentro del proceso productivo donde se

realizan los levantamientos?

- ¿Son frecuentes los casos de levantamientos donde el peso de la carga es variable?
  - ¿depende del sector de actividad?
  - ¿depende de la actividad dentro del proceso productivo donde se realizan los levantamientos?

Sobre las evaluaciones de riesgo por levantamiento manual de cargas

- ¿Se realizan evaluaciones de riesgo por levantamiento manual de cargas en las empresas?
  - ¿Es coherente la frecuencia de realización de evaluaciones de riesgo por levantamiento manual de cargas con la frecuencia de presencia de esta condición de trabajo?
- ¿Qué métodos de evaluación de riesgo están más extendidos?
  - ¿depende del sector de actividad?

## Selección y descripción de la muestra

### Criterios de selección de la muestra

La figura del Delegado de Prevención (DP) en España se establece en el art.35 de la Ley 31/1995, de 8 de noviembre de Prevención de Riesgos Laborales (LPRL). Es una persona trabajadora elegida como tal por y entre los representantes legales de los trabajadores en el Comité de Empresa o entre los Delegados de personal con funciones específicas en materia de prevención de riesgos laborales.

Sus competencias principales en materia de prevención de riesgos laborales son las siguientes:

- Colaborar con la dirección de la empresa en la mejora de la acción preventiva,
- Promover y fomentar la cooperación de los trabajadores en la ejecución de la normativa sobre prevención de riesgos laborales,
- Ser consultados por el empresario, con carácter previo a su ejecución, acerca de ciertas decisiones en materia de prevención de riesgos laborales,
- Ejercer una labor de vigilancia y control sobre el cumplimiento de la normativa de prevención de riesgos laborales,

Según la Encuesta Nacional de Gestión de la Seguridad y Salud en las Empresas [ENGE, 2009], realizada a responsables de empresa, menos de la mitad confirman la existencia de un delegado de prevención en su centro de trabajo. **Tabla 5.1.**

BASE=2212		Sector del centro de trabajo				
Ponderación		Suma	Agrario	Industria	Construcción	Servicios
<b>Existencia de Delegados de prevención</b>	Sí	<b>43,40%</b>	44,50%	55,60%	45,00%	38,70%
	No	<b>56,20%</b>	55,50%	43,40%	54,70%	60,90%
	NC	<b>0,40%</b>	*	1,10%	0,30%	0,30%
	NS	*	-	-	-	*
	Suma	<b>2212 (100%)</b>	<b>89 (100%)</b>	<b>442 (100%)</b>	<b>365 (100%)</b>	<b>1316 (100%)</b>

**Tabla 5.1.** Existencia de Delegados de prevención en centros de trabajo con 6 o más trabajadores, según los responsables de empresa [ENGE, 2009]

Dos años previos, se realizó la VI Encuesta Nacional de Condiciones de Trabajo [ENCT, 2007] a trabajadores (**tabla 5.2**). Aunque ambas encuestas no son estadísticamente comparables, pocas diferencias de magnitud se perciben en cuanto a la existencia de delegados de prevención en las empresas, afirmando su existencia menos del 55% de los encuestados.

BASE=6833		Sector de actividad de la empresa				
Muestra ponderada		Suma	Agrario	Industria	Construcción	Servicios
<b>Existencia de Delegado de prevención en el centro de trabajo</b>	Sí	<b>54,50%</b>	33,50%	66,70%	51,00%	52,70%
	No	<b>24,70%</b>	42,10%	17,60%	26,40%	25,60%
	NC	<b>2,00%</b>	2,90%	2,00%	1,90%	2,10%
	NS	<b>18,40%</b>	21,60%	13,20%	20,50%	19,40%
	(perdidos)	<b>0,30%</b>	-	0,40%	0,20%	0,20%
	Suma	<b>6833 (100%)</b>	<b>253 (100%)</b>	<b>1362 (100%)</b>	<b>894 (100%)</b>	<b>4325 (100%)</b>

**Tabla 5.2.** Existencia de Delegados de prevención en centros de trabajo con 6 o más trabajadores, según los trabajadores [ENCT, 2007].

Según los responsables de empresa [ENGE, 2009] más del 80% de los delegados de prevención tienen una formación específica sobre seguridad y salud de los trabajadores, ilustrado en la **tabla 5.3**.

Para este estudio, se ha considerado que el delegado de prevención es un perfil adecuado para valorar y transmitir la realidad en las empresas en materia de levantamientos manuales de cargas principalmente debido a dos argumentos: son trabajadores del centro de trabajo, y por tanto, perciben diariamente las condiciones de trabajo del resto de trabajadores; y tienen formación específica en el área de prevención de riesgos laborales, y por tanto, poseen criterios adecuados para valorar las condiciones de trabajo.

El contacto con los delegados de prevención se realizó mediante UGT Catalunya, organismo que facilitó el contacto directo con las personas trabajadoras, a quienes se le solicitó confirmación de estar actualmente designadas como delegados de prevención en la empresa donde trabajan (n=163).

Previamente a solicitar su colaboración en el estudio, y para asegurar la calidad de sus valoraciones, se les impartió una sesión de formación de 1 hora sobre la identificación del peligro por levantamiento manual de cargas y los principales factores de riesgo relacionados.



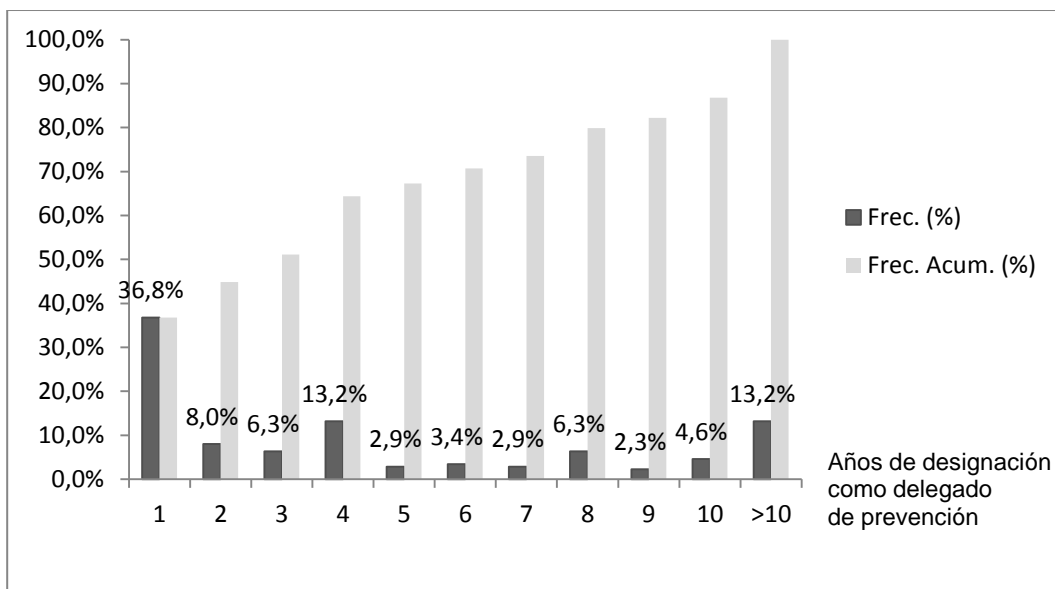
BASE=773		Sector del centro de trabajo			
Ponderación	Suma	Agrario	Industria	Construcción	Servicios
No, ninguna	<b>10,20%</b>	17,10%	8,80%	9,60%	10,60%
Sí, menos de 30 horas	<b>26,70%</b>	21,00%	24,90%	15,30%	31,20%
Sí, curso de nivel básico (30-50 h)	<b>35,60%</b>	33,50%	37,90%	47,80%	31,20%
Sí, curso de nivel intermedio (300 h)	<b>11,30%</b>	4,60%	11,40%	10,30%	11,90%
Sí, curso de nivel superior (600 h)	<b>7,30%</b>	4,20%	4,80%	6,80%	8,40%
Varios	<b>3,20%</b>	6,30%	4,00%	6,00%	1,80%
NS	<b>5,70%</b>	13,40%	8,30%	4,20%	4,80%
Suma	<b>773 (100%)</b>	<b>21 (100%)</b>	<b>163 (100%)</b>	<b>139 (100%)</b>	<b>449 (100%)</b>

**Tabla 5.3.** Formación proporcionada a los delegados de prevención en materia de seguridad y salud de los trabajadores desde su designación [ENGE, 2009]

Respecto a los requerimientos de los levantamientos manuales de cargas, se solicitó únicamente valoración sobre la variabilidad en la altura de agarre de las cargas y en los pesos; otros parámetros del levantamiento como la distancia horizontal de agarre y el ángulo de asimetría, se han omitido, al considerar que su identificación y valoración comporta una componente técnica importante, y por tanto, la fiabilidad de las posibles respuestas por personas no expertas sería demasiado baja.

## Descripción de la muestra

La muestra está compuesta de delegados de prevención (n=163), cuyos años de experiencia en la designación como delegado se muestran en la **figura 5.1**.



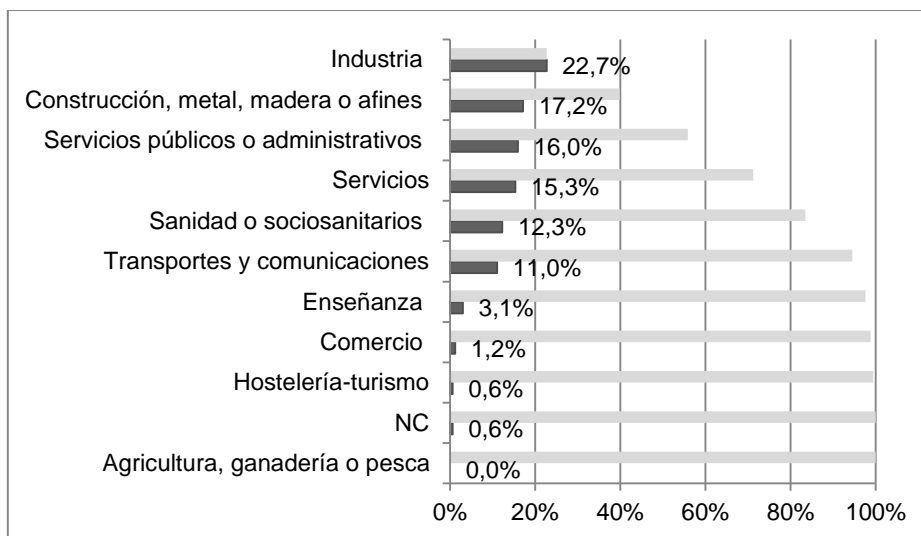
**Figura. 5.1.** Distribución de la muestra de delegados de prevención según los años de designación en esta función.

Como se puede comprobar, los años de experiencia de la muestra en la designación como delegado de prevención es bastante dispersa ( $\bar{X}=4,2$ ;  $\sigma=4,2$ ), teniendo el 55,2% de los encuestados una experiencia mayor a 3 años.

Aunque una parte significativa de la muestra (36,8%) está en su primer año de designación como delegado de prevención, este criterio no se ha utilizado como discriminador en la selección de la muestra, aunque se analizará la influencia de la experiencia en las valoraciones realizadas.

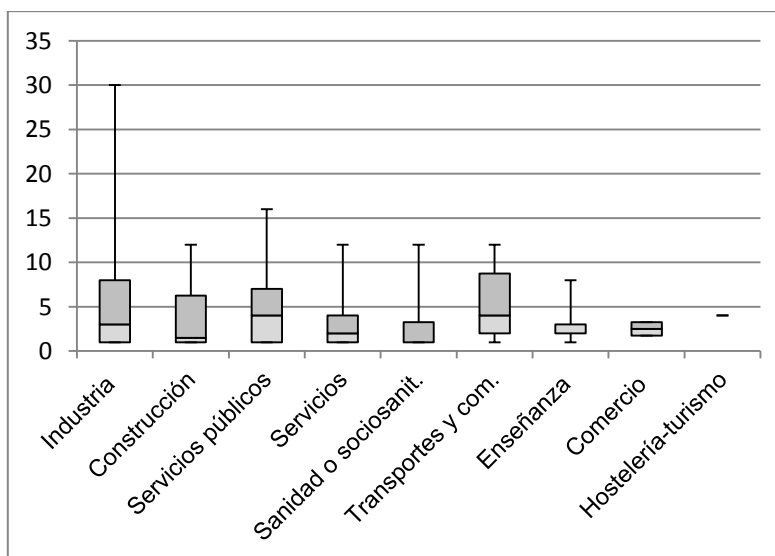
De la muestra, se pueden discriminar los sectores de actividad en donde tienen experiencia los delegados de prevención, destacando cerca de un 28% del total designados en el sector industrial, seguido por un 17% en el sector de la construcción y metal y por un 16% en el sector de servicios públicos o administrativos tal como se observa en la **figura 5.2**.

Según el diagrama de cajas (**figura 5.3**), parece que hay ligeras diferencias en los años de experiencia designados como delegados según el sector de actividad.



**Figura 5.2.** Distribución de la muestra de delegados de prevención según el sector de actividad del centro donde trabajan.

De todas formas, la variable experiencia como delegado de prevención no se ha considerado una variable discriminante, debido a que todos tienen más de 3 años de antigüedad en la empresa, hecho suficiente para conocer las condiciones de trabajo del sistema productivo.

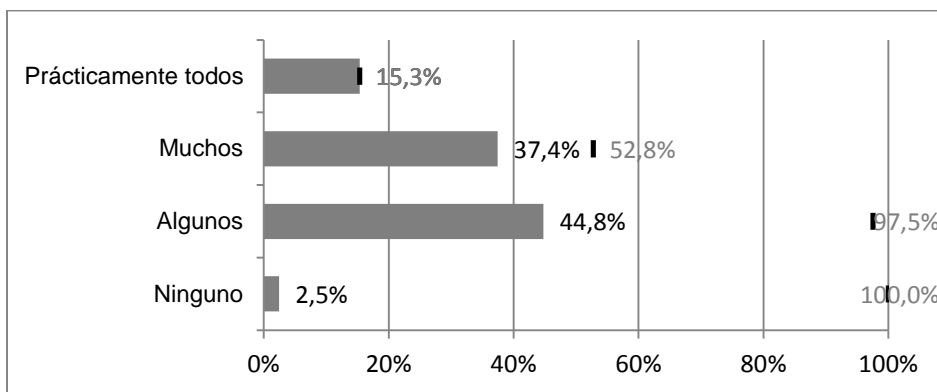


**Figura 5.3.** Distribución de la experiencia en la designación como delegados de prevención según el sector de actividad donde trabajan.

# Resultados

## Presencia del levantamiento manual de cargas en las empresas

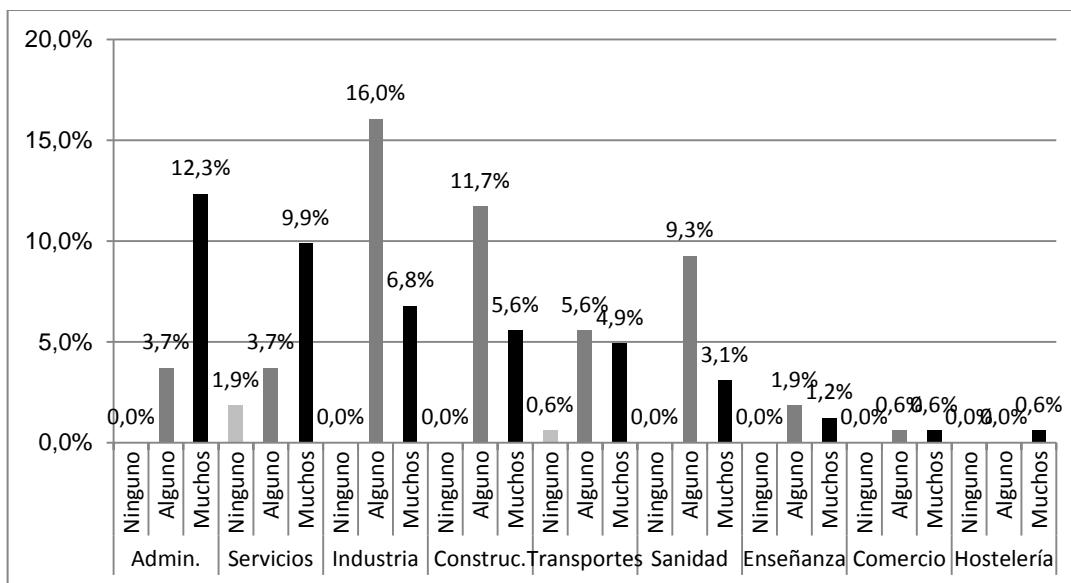
Ante la pregunta si hay puestos de trabajo en su empresa que requieran realizar levantamientos manuales de carga como parte de su contenido de trabajo, sólo 4 respondieron que no tal como se muestra en la **figura 5.4**.



**Figura 5.4.** Frecuencia de la proporción de puestos de trabajo en la empresa que requieren levantar manualmente cargas.

Más de la mitad de las empresas de los encuestados (52,8%) requieren levantar manualmente cargas en muchos o prácticamente todos los puestos de trabajo.

Para una interpretación más sencilla, se ha considerado el caso valorado como 'prácticamente todos' en la misma categoría que 'muchos'. Bajo este nuevo esquema, y observando la **figura 5.5**, parece que la presencia de puestos de trabajo que requieren levantar manualmente cargas puede depender del sector de actividad.



**Figura 5.5.** Distribución de la proporción de puestos de trabajo en la empresa que requieren levantar manualmente cargas según el sector de actividad.

Del test de independencia (**tabla 5.4**) se puede derivar que la proporción de puestos de trabajo en la empresa que requieren levantar manualmente cargas depende del sector de actividad de la empresa ( $p < 0,01$ ).

<b><math>\chi^2</math></b>	41,2
<b>GL</b>	18
<b>P-valor</b>	0,001383

**Tabla. 5.4.** Test de independencia entre la proporción de puestos de trabajo que requieren levantar manualmente cargas y el sector de actividad de la empresa.

Tras ajustar el modelo logístico, se han derivado las siguientes probabilidades para cada proporción de puestos de trabajo con levantamiento manual de cargas dependiendo del sector de actividad de la empresa (**tabla 5.5**).

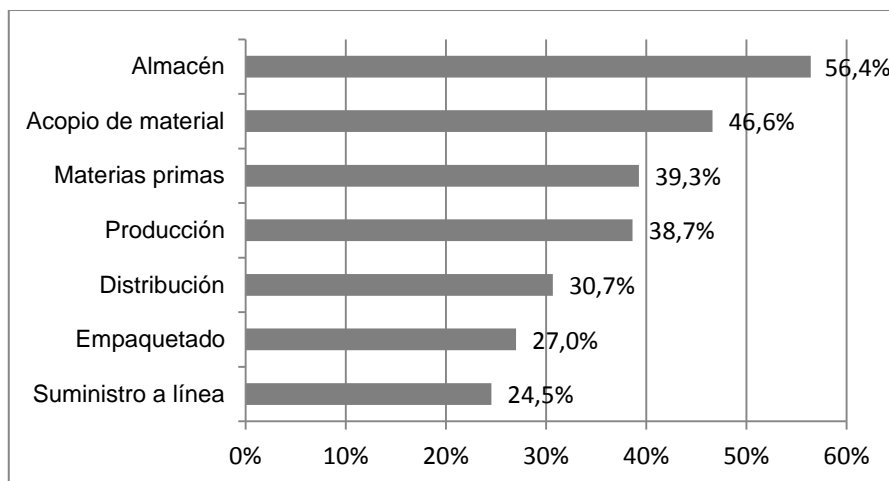
Probabilidades	Ninguno	Alguno	Muchos o prácticamente todos
Comercio	0,000	0,500	0,500
Construcción	0,000	0,321	<b>0,679</b>
Enseñanza	0,000	0,400	<b>0,600</b>
Hostelería	0,000	<b>1,000</b>	0,000
Industria	0,000	0,297	<b>0,703</b>
Sanidad	0,000	0,250	<b>0,750</b>
Servicios	0,120	<b>0,640</b>	0,240
Servicios púb.	0,000	<b>0,769</b>	0,231
Transportes	0,056	0,444	0,500

**Tabla. 5.5.** Previsión de probabilidades de la proporción de puestos de trabajo con levantamiento manual de cargas según el sector de actividad de la empresa.

Las empresas de los sectores sanidad, industria, construcción y enseñanza tienen una probabilidad significativa (0,75; 0,70; 0,67 y 0,60 respectivamente) que muchos o prácticamente todos los puestos de trabajo requieran levantar manualmente cargas como parte de su trabajo. Las empresas del sector hostelería, administración y servicios tienen una probabilidad significativa de tener algún puesto de trabajo que requiera levantar manualmente cargas. No hay ningún sector del cuál las empresas tengan una probabilidad significativa de no tener ningún puesto de trabajo con este requerimiento.

Dentro del sistema productivo, la actividad en la que se requiere mayor presencia de levantamientos manuales de cargas es la relacionada con almacén, afirmándolo el 56,4% de los trabajadores, seguido de acopio de material (46,6%) y manipulación de materias primas (39,3%) representado en la **figura 5.6**.

Para el análisis de las otras cuestiones relacionadas con los levantamientos manuales de cargas, se han omitido los casos de los delegados de prevención que han afirmado que en su empresa no hay puestos de trabajo que requieran levantamientos manuales de cargas, quedando una muestra de n=159.

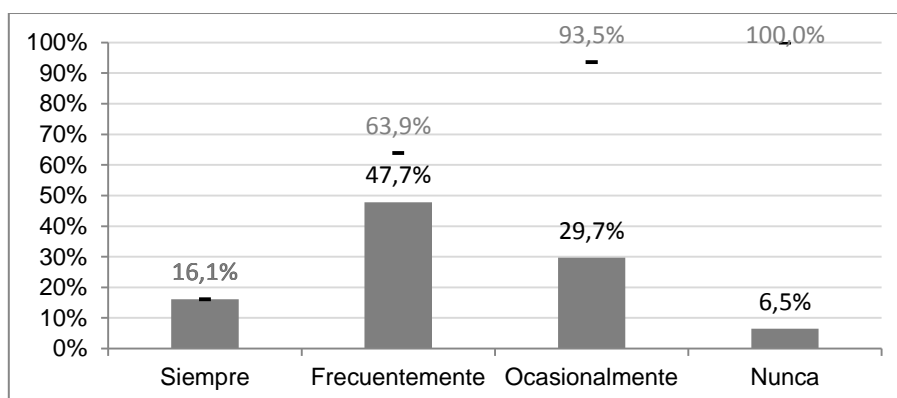


**Figura 5.6.** Frecuencias de presencia significativa de levantamientos manuales de cargas por actividad.

## Requerimientos de los levantamientos manuales de cargas

### Variabilidad en la altura del levantamiento

En la **figura 5.7** se muestra que la mayoría de los delegados de prevención (63,9%) afirman que frecuentemente o siempre varía la altura de agarre en los puestos donde se realiza levantamiento manual de cargas.



**Figura 5.7.** Frecuencia de la presencia de variabilidad en la altura de agarre en las tareas de levantamiento.

Del test de independencia (**tabla 5.6**), parece que la presencia de variabilidad de la altura de agarre en los levantamientos manuales de cargas puede depender del sector de actividad ( $p < 0,015$ ).

$\chi^2$	42,03
GL	24
p-valor	0,01282

**Tabla. 5.6.** Test de independencia entre la proporción de puestos de trabajo que requieren levantar manualmente cargas y el sector de actividad de la empresa.

Tras ajustar el modelo logístico, se han derivado las siguientes probabilidades para cada proporción de puestos de trabajo con levantamiento manual de cargas (**tabla 5.7**) dependiendo del sector de actividad de la empresa.

Probabilidades	Nunca	Ocasionalmente	Frecuentemente	Siempre
Comercio	0,000	0,000	0,500	0,500
Construcción	0,000	0,214	<b>0,643</b>	0,143
Enseñanza	0,000	0,200	0,200	<b>0,600</b>
Hostelería	0,000	<b>1,000</b>	0,000	0,000
Industria	0,054	0,270	0,487	0,189
Sanidad	0,118	0,118	0,353	0,412
Servicios	0,091	0,500	0,318	0,091
Servicios púb.	0,154	0,346	0,462	0,039
Transportes	0,000	0,353	<b>0,647</b>	0,000

**Tabla 5.7.** Previsión de probabilidades de la frecuencia de variabilidad en la altura de agarre de la carga según el sector de actividad de la empresa.

Los sectores de comercio, enseñanza, construcción, sanidad y transportes tienen una probabilidad significativa ( $\text{prob} > 0,5$ ) que la variabilidad en la altura de agarre de las cargas sea un requerimiento que esté presente frecuentemente o siempre, con probabilidades 1, 0,8, 0,79, 0,76 y 0,65, respectivamente.

El hecho que este requerimiento no esté presente nunca tiene asociado unas probabilidades mayores en los sectores de servicios públicos o administraciones ( $\text{prob} = 0,15$ ) y sanidad o socio sanitario (0,11).



Es posible afirmar que la frecuencia de presencia de variabilidad en la altura de agarre de las cargas depende de algunas actividades donde se realizan los levantamientos manuales de cargas en el sistema productivo. En concreto, se ha encontrado dependencia para las actividades de acopio de materiales ( $p=0,016$ ), manipulación de materias primas ( $p=0,006$ ) y almacén ( $p=0,044$ ) representadas en la **tabla 5.8**.

Test de independencia	$\chi^2$	Grados de libertad	p-valor
Acopio de material	10,258	3	<b>0,016</b>
Suministro a línea	4,872	3	0,181
Empaquetado y/o paletizado	7,323	3	0,062
Distribución	3,402	3	0,334
Manipulación mat. primas	12,517	3	<b>0,006</b>
Producción	22,788	3	0,517
Almacén	8,085	3	<b>0,044</b>

**Tabla 5.8.** Test de independencia de la presencia de variabilidad en la altura de agarre para cada actividad del sistema productivo.

Del ajuste de los modelos logísticos para estas tres actividades, se han obtenido en la **tabla 5.9** las siguientes probabilidades de previsión del nivel de presencia de variabilidad en la altura de agarre de la cargas.

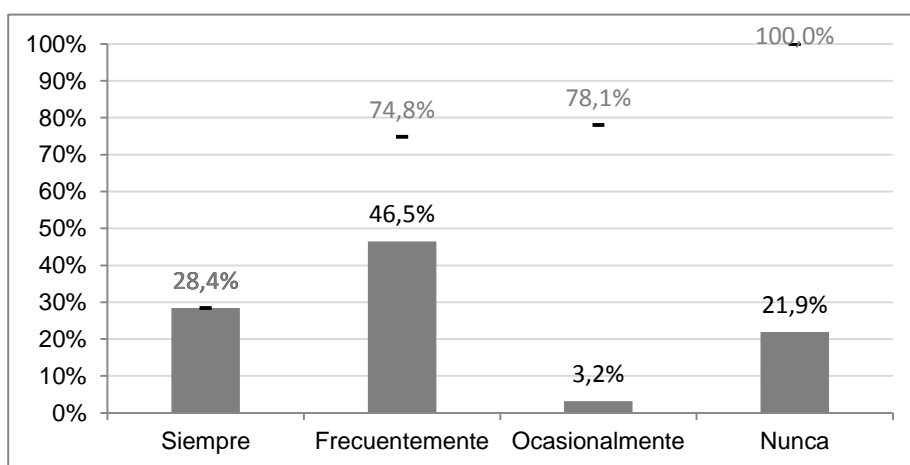
Probabilidades		Nunca	Ocasionalmente	Frecuentemente	Siempre
Acopio de material	No	0,050	0,288	0,350	0,313
	Si	0,013	0,147	<b>0,587</b>	0,253
Manipulación mat. primas	No	0,033	0,315	0,391	0,261
	Si	0,032	0,079	<b>0,571</b>	0,318
Almacén	No	0,063	0,297	0,375	0,266
	Si	0,011	0,165	<b>0,528</b>	0,297

**Tabla 5.9.** Previsión de probabilidades de la presencia o no de variabilidad en la altura de agarre de la carga según la actividad donde se realiza el levantamiento manual de cargas dentro del sistema productivo.

Tanto en las actividades relacionadas con acopio de material, manipulación de materias primas y almacén, existe una probabilidad significativa que la variabilidad en la altura de agarre esté presente frecuentemente, con probabilidades de 0,58, 0,57 y 0,52, respectivamente.

### Variabilidad en el peso de las cargas

La mayoría de los delegados de prevención (74,8%) afirman que frecuentemente o siempre varía el peso de las cargas que se requiere levantar manualmente.



**Figura 5.8.** Frecuencia de la presencia de variabilidad en el peso de las cargas a levantar manualmente

Del test de independencia (**tabla 5.10**), se deduce que la presencia de variabilidad en el peso de las cargas no depende del sector de actividad de la empresa (no se puede rechazar la independencia entre ambos parámetros con  $p=0,17$ ).

$\chi^2$	30,32
GL	24
p-valor	0,1742

**Tabla 5.10.** Test de independencia entre la proporción de puestos de trabajo que requieren levantar manualmente cargas y el sector de actividad de la empresa

En cambio, parece que la frecuencia en la presencia de variabilidad en el peso de las cargas levantadas depende de algunas actividades dentro del sistema pro-

ductivo donde se realicen los levantamientos manuales (**tabla 4.11**). En concreto, es posible afirmar dependencia para las actividades de acopio de material ( $p=0,004$ ), empaquetado y/o paletizado ( $p=0,026$ ), manipulación de materias primas ( $p=0,029$ ), producción ( $p=0,024$ ) y almacén ( $p=0,032$ ).

Test de independencia	$\chi^2$	Grados de libertad	p-valor
Acopio de material	13,251	3	<b>0,004</b>
Suministro a línea	4,676	3	0,197
Empaquetado y/o paletizado	9,279	3	<b>0,026</b>
Distribución	16,993	3	0,637
Manipulación mat. primas	9,053	3	<b>0,029</b>
Producción	9,429	3	<b>0,024</b>
Almacén	8,835	3	<b>0,032</b>

**Tabla 5.11.** Nivel de dependencia entre la frecuencia de la presencia de variabilidad en el peso de las cargas levantadas manualmente y la actividad dentro del sistema productivo donde se realizan los levantamientos.

Tras ajustar los modelos de previsión, se han obtenido las siguientes probabilidades del nivel de presencia de la variabilidad en el peso de la carga levantada manualmente en cada las actividades del sistema productivo dependientes. **Tabla 5.12.**

Probabilidades		Nunca	Ocasionalmente	Frecuentemente	Siempre
Acopio de material	No	0,125	0,275	0,400	0,200
	Sí	0,000	0,320	<b>0,560</b>	0,120
Empaquetado y/o paletizado	No	0,084	0,348	0,446	0,125
	Sí	0,023	0,163	<b>0,558</b>	0,256
Manipulación mat. primas	No	0,087	0,370	0,402	0,141
	Sí	0,032	0,191	<b>0,587</b>	0,191
Producción	No	0,086	0,344	0,473	0,097
	Sí	0,032	0,226	0,484	0,258
Almacén	No	0,094	0,391	0,344	0,172
	Sí	0,044	0,231	<b>0,571</b>	0,154

**Tabla 5.12.** Probabilidades de la presencia de variabilidad en el peso de las cargas levantadas manualmente según la actividad del sistema productivo donde se realizan los levantamientos.

En las actividades de acopio de material, empaquetado y/o paletizado, manipulación de materias primas y almacén, hay una probabilidad significativa ( $\text{prob} > 0,5$ ) que la variabilidad en el peso de las cargas levantadas manualmente esté presente frecuentemente, con unas probabilidades de 0,56, 0,55, 0,58 y 0,57, respectivamente.

## Características de las evaluaciones del riesgo

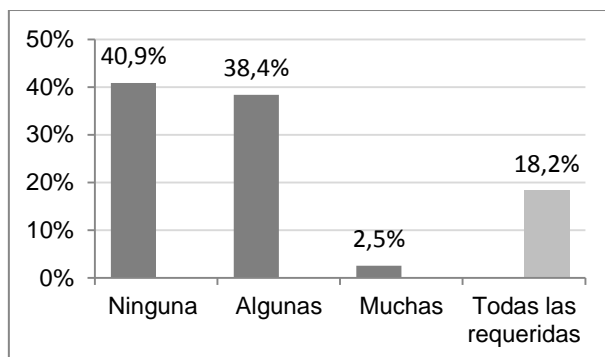
### Realización de evaluaciones de riesgo por levantamiento manual de cargas

En primer lugar, se preguntó a los delegados de prevención si en su empresa se realizan evaluaciones de riesgo específicas relacionadas con el ámbito de la ergonomía. Cabe notar que estas evaluaciones pueden estar relacionadas con alguno o varios de los siguientes peligros: levantamiento manual de cargas, transporte de cargas, empuje y/o tracción de cargas, posturas forzadas, movimientos repetitivos y aplicación de fuerzas.

A esta cuestión, el 75,5% respondió de forma positiva. El 24,5% restante ( $n=40$ ) respondió que en su empresa no se han realizado evaluaciones de riesgo relacionadas con ergonomía.

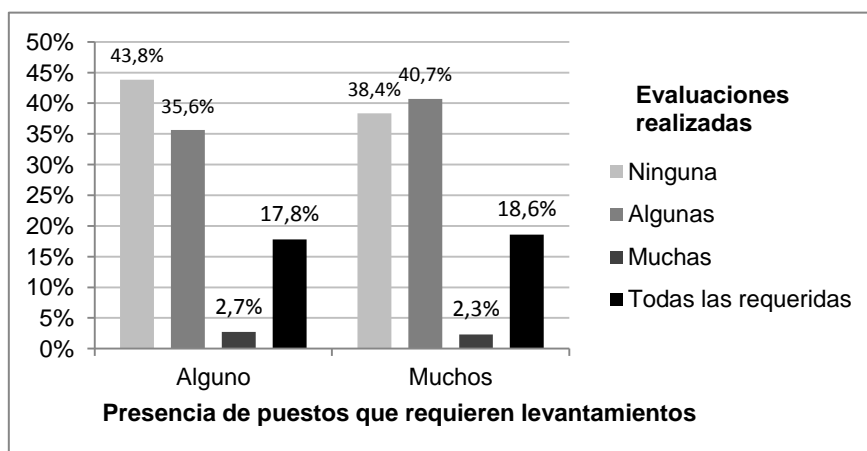
Recordemos que el 2,5% (4) de delegados de prevención afirmaron que en su empresa no había puestos de trabajo que requirieran levantamientos manuales de cargas como parte del contenido de su trabajo. Evidentemente, en estas empresas no sería necesario realizar evaluaciones de riesgo por levantamiento manual de cargas y por tanto, no se han omitido para el análisis de esta cuestión, quedando una muestra de  $n=159$ .

Para valorar la práctica de realizar evaluaciones de riesgo específicas por levantamiento manual de cargas en las empresas, se preguntó a los delegados de prevención, de forma categórica en ninguna, algunas, muchas o todas las requeridas, si se realizan dichas evaluaciones en su empresa. En la **figura 5.9**, se representa que el 40,9% valora que no se ha realizado ninguna evaluación de riesgo por levantamiento manual de cargas en su empresa; el 38,4% afirma que se han evaluado algunos puestos de trabajo y en el 20,7% de los casos se valora que se han realizado muchas evaluaciones de riesgo o bien, todas las requeridas.



**Figura 5.9.** Frecuencia de la realización de evaluaciones de riesgo por levantamiento manual de cargas en las empresas.

Evidentemente, para interpretar esta valoración es necesario analizar la coherencia de la cantidad de evaluaciones de riesgo por levantamiento manual de cargas que se realizan en la empresa con la cantidad de puestos de trabajo con requerimiento de levantamiento manual de cargas. **Figura 5.10.**



**Figura 5.10.** Frecuencia de realización de evaluaciones de riesgo por levantamiento manual de cargas en las empresas según la cantidad de puestos de trabajo que requieren levantar cargas manualmente.

Dicha coherencia sólo se valora como presente en los siguientes casos:

- El 38,3% de las empresas en las que sólo hay presentes algunos puestos de trabajo que requieren levantar manualmente cargas y se han realizado algunas o muchas evaluaciones de riesgo específicas, representando un 17,6% de la muestra.
- El 18,2% de la muestra que valora que se han realizado todas las evaluaciones de riesgo por levantamiento manual de cargas que las condiciones del sistema productivo requiere.

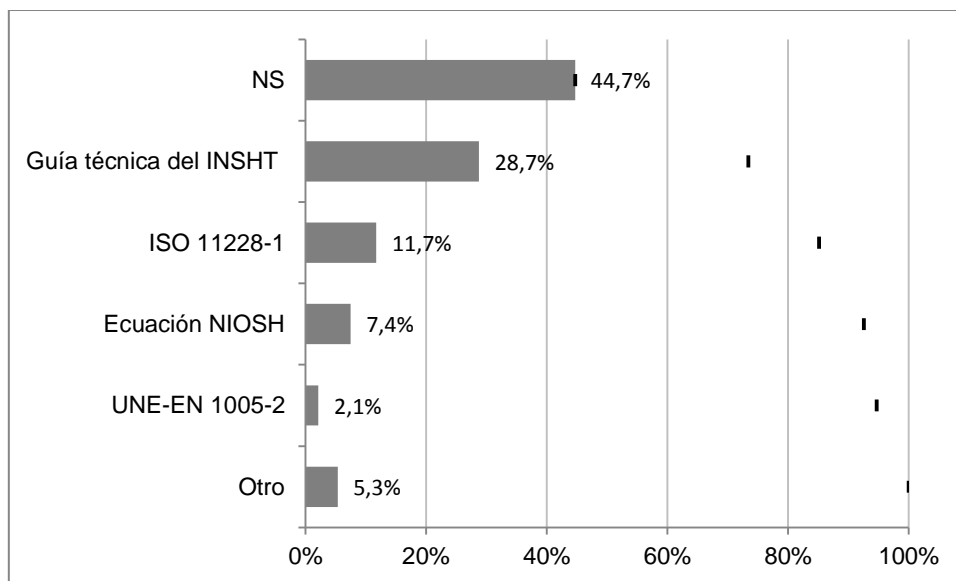
Por tanto, se puede afirmar que, según los delegados de prevención, en el 64,2% de las empresas no se realizan todas las evaluaciones de riesgo por levantamiento manual de cargas que las condiciones de trabajo requieren.

### **Método de evaluación utilizado**

El método de evaluación del riesgo y los criterios utilizados son aspectos técnicos y su conocimiento no forma parte de las competencias de los delegados de prevención. Aun así, se preguntó a los delegados de prevención qué método de evaluación se utiliza para caracterizar el riesgo por levantamiento manual de cargas en su empresa.

Esta cuestión se realizó únicamente a los delegados de prevención en cuyas empresas hay puestos de trabajo que requieren levantar manualmente cargas y se ha realizado al menos alguna evaluación de riesgo por levantamiento manual de cargas, quedando una muestra de  $n=94$ .

La **figura 5.11**, representa que el 44,7% de los delegados contactados no saben qué método de evaluación se utiliza en su empresa; el 50% afirma que se utiliza un método basado en la Ecuación NIOSH, ya sea la Guía técnica del INSHT (28,7%), la ISO 11228-1 (11,7%), la Ecuación NIOSH Revisada (7,4%) o la UNE-EN 1005-2 (2,1%).



**Figura 5.11.** Frecuencia de uso de los diferentes métodos de evaluación del riesgo por levantamiento manual de cargas según el conocimiento de los delegados de prevención.

Cabe notar que la falta de experiencia como delegado de prevención influye en el desconocimiento sobre el método de evaluación de riesgos utilizado en la empresa. El 54,8% de los delegados que han reconocido su desconocimiento sobre el método de evaluación utilizado en su empresa no superan 1 año de experiencia en la designación como delegado de prevención, porcentaje muy superior al 36,8% de la muestra que tiene una experiencia en la designación como delegado de prevención que no supera 1 año.

El método utilizado no depende del sector de actividad de la empresa, puesto que no se puede rechazar la independencia entre ambos parámetros ( $p=0,287$ ), pero sí que depende de la frecuencia de realización de evaluaciones de riesgo en la empresa ( $p<0,015$ ). **Tabla 5.13.**

Dependencia con el método de evaluación utilizado	$\chi^2$	Grados de libertad	P-valor
Sector de la empresa	31,680	28	0,28770
Frecuencia de evaluación del riesgo	19,583	8	<b>0,01203</b>

**Tabla 5.13.** Test de independencia entre el método de evaluación utilizado y las variables sector de la empresa y frecuencia de realización de evaluaciones de riesgo por levantamiento manual de cargas.

Del ajuste de los modelos, se obtiene (**tabla 5.14**) que cuando se realizan muchas evaluaciones de riesgo por levantamiento manual de cargas en la empresa, el método de evaluación que se utilizará es el contemplado en la norma ISO 11228-1 (prob=1); si se realizan algunas evaluaciones, el método que se utilizará con una probabilidad significativa (prob=0,68) es la Guía técnica del INSHT. En los casos que el delegado de prevención valora que se realizan todas las evaluaciones de riesgo requeridas, la probabilidad está equidistribuida entre todos los métodos.

Evaluaciones realizadas / método	Ecuación NIOSH	Guía técnica del INSHT	ISO 11228-1	UNE-EN 1005-2	Otro
Algunas	0,094	<b>0,688</b>	0,156	0,000	0,063
Muchas	0,000	0,000	<b>1,000</b>	0,000	0,000
Todas las requeridas	0,211	0,263	0,263	0,263	0,000

**Tabla 5.14.** Probabilidades de uso de cada método de evaluación de riesgo por levantamiento manual de cargas según el nivel de frecuencia de realización de evaluaciones.

## Discusión y conclusiones

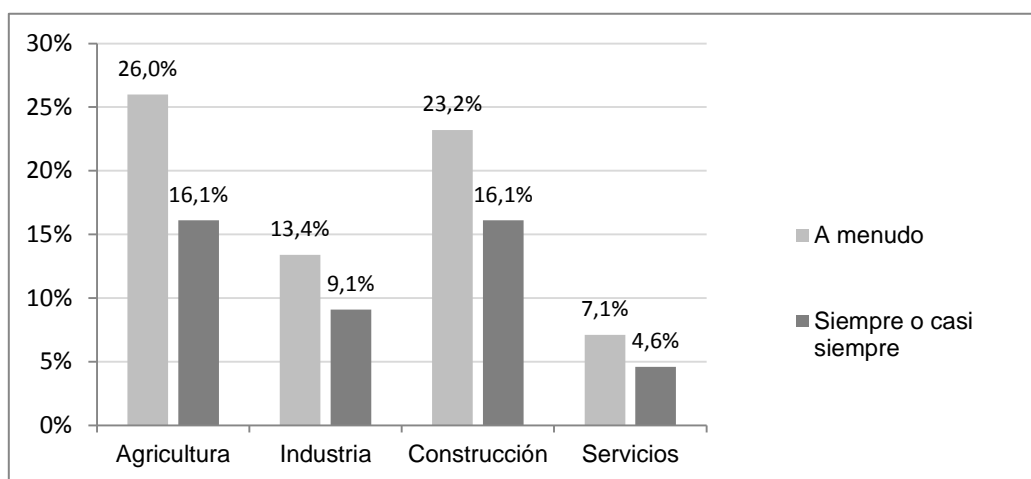
Según los últimos datos oficiales [ENGE, 2009] [ENCT, 2007], sólo el 43,4% de las empresas y el 54,5% de los trabajadores afirman la existencia de delegados de prevención en su organización. La poca antigüedad en la asignación como delegado de prevención de la muestra considerada en este estudio (de 163 delegados contactados, el 36,8% no tienen más de 1 año de experiencia como delegado de prevención), puede ser un indicador que su presencia en las empresas se está incrementando, sobre todo en los sectores de construcción, servicios y sanidad.

Según la valoración realizada por los delegados de prevención, el requerimiento de levantar manualmente cargas es una condición de trabajo ampliamente presen-



te en todas las organizaciones. En el 52,8% de los casos se afirma que este requerimiento está presente en muchos o prácticamente todos los puestos de trabajo de su empresa, especialmente en los sectores de industria, sanidad y construcción, con unas probabilidades significativas de estar presente en muchos o prácticamente todos los puestos de trabajo de 0,70, 0,75 y 0,67, respectivamente.

Este requerimiento implica que en los puestos de trabajo, como parte de su contenido de trabajo, se deben levantar cargas manualmente cada día. Pero además, considerando los datos de la encuesta realizada a trabajadores a nivel estatal [INSHT, 2007], se puede afirmar (**figura 4.12**) que este requerimiento está presente en una parte significativa de los puestos de trabajo de una forma muy intensa: el 22% de los puestos en industria, el 39% en construcción y el 11% en servicios, los levantamientos manuales de cargas consideradas pesadas se realizan a menudo o siempre durante la jornada laboral.



**Figura 5.12.** Presencia de levantamientos manuales de cargas pesadas en los puestos de trabajo [INSHT, 2007].

Las actividades del sistema productivo donde es más habitual que este requerimiento esté presente en muchos puestos de trabajo son las de almacén, acopio de material y manipulación de materias primas y producción, afirmándolo en el 56,4%, 46,6%, 39,3% y 38,7% de los casos, respectivamente.

Sobre las condiciones de los levantamientos, se puede afirmar que son altamente variables, tanto por la altura de agarre de las cargas, como por el peso de los

objetos levantados, con frecuencias de 63,9% y 74,8% de los casos respectivamente, donde la variabilidad es presente siempre o frecuentemente.

Mientras que la variabilidad en el peso se puede afirmar que está presente de igual forma en todos los sectores de actividad, la variabilidad en la altura de agarre está presente frecuentemente o siempre, con unas probabilidades significativas, en los sectores de comercio, enseñanza, construcción, sanidad y transportes.

La variabilidad tanto en la altura de agarre como en el peso de la carga está presente frecuentemente o siempre en las tareas relacionadas con almacén, acopio de material y manipulación de materias primas, con probabilidades significativas ( $\text{prob} > 0,5$ ).

Respecto a las evaluaciones de riesgo, el 24,5% de los delegados afirma que en su empresa no se han realizado evaluaciones de riesgo específicas relacionadas con ergonomía. Este dato, coincide con la afirmación de los empresarios a través de la encuesta realizada a nivel estatal en el 2009 [INSHT, 2009], donde el 22,4% de las empresas afirman no haber evaluado los riesgos relacionados con la ergonomía.

En cuanto a la evaluación de riesgo específica por levantamiento manual de cargas, según los delegados de prevención, en el 64,2% de las empresas no se realizan todas las evaluaciones que las condiciones de trabajo requieren. Siendo un incumplimiento legal, es posible que en los próximos años, la práctica de realizar evaluaciones de riesgo por levantamiento manual de cargas se incremente substancialmente.

Por último, ha quedado patente la amplia extensión de la Ecuación NIOSH Revisada como método de evaluación de riesgos por levantamiento manual de cargas, considerando que del 55,3% de los delegados que conocen qué método de evaluación se utiliza para evaluar estos riesgos en su empresa, el 90,4% señala un método que utiliza la Ecuación NIOSH Revisada como criterio de evaluación.

En las empresas que se realizan muchas evaluaciones de riesgo por levantamiento manual de cargas, el método de evaluación que se utiliza ( $\text{prob}=1$ ) es la norma ISO 11228-1. La norma técnica ISO 11228-1, que desarrolla la Ecuación NIOSH Revisada como método de evaluación, es un documento técnico y complejo, actualmente sólo disponible en inglés bajo compra.

En el 2009 se publicó un manual en castellano [ALVAREZ-CASADO, et al., 2009] que expone esta norma, entre otras, de forma didáctica. Aunque, sin duda, este libro ha contribuido a la difusión de la norma técnica ISO 11228-1, sigue siendo un documento de referencia sólo utilizado por expertos que se especializan en esta área.



# Propuesta del modelo: El índice de levantamiento variable (VLI)

---

## Definición del modelo VLI

El modelo propuesto VLI ya se definió informalmente en [WATERS et al., 2009]. A continuación se presenta su definición formal.

El universo de análisis de una tarea  $T$  es análogo al definido para el cálculo de CLI, por lo que no se repetirán las definiciones de las variables.

Sea una tarea  $T$ :  $\{VLI_T, N_T, WD_T, TL_T, TF_T, ST_T, F_T, LI_T\}$ , donde  $N_T \gg 10$  y  $VLI_T$  es un número positivo que representa el nivel de riesgo de la tarea  $T$  debido al levantamiento manual de cargas;

$STC_T$ :  $\{STC_{1,T}, \dots, STC_{TC,T}\}$  un sistema de clasificación de  $ST$ ;  $STC_i \subseteq ST$ ; cuya relación de pertenencia a  $STC_i$  es de similitud de los valores del atributo  $FILL$ ;

$STC'_T$ :  $\{STC'_{1,T}, \dots, STC'_{TC,T}\}$  el conjunto resultante de aplicar la relación de orden estricto  $\geq$  al conjunto  $STC_T$ , según el atributo  $\{FILL_T, >\}$ ;

$TC_T$  un número entero positivo que representa el número total de categorías de subtareas aplicado a la tarea  $T$ ;

$\epsilon(STC_i)$  es la función dimensión del universo de valores de la categoría  $STC_i$ .

Se define el Índice de Levantamiento Variable de la tarea T ( $VLI_T$ ) como:

$$VLI_T = LI'_{1,T} + \sum_{i=1}^{TC_T-1} \Delta LI_{i,T}^{STC'}$$

donde,

$$\Delta LI_{i,T}^{STC'} = FILI_{i+1,T}^{STC'} \times \left( \frac{1}{FM_{\sum_{n=1}^{i+1} F_{STC',n,T}}} - \frac{1}{FM_{\sum_{n=1}^i F_{STC',n,T}}} \right);$$

$F_{STC',n,T} = \sum F_i$ , para todo  $i$  t.q.  $ST_i \in STC'_n$ ;

$FILI_{1,T}^{STC'} = \max \{ FILI_i \}$ ;

$FILI_{n,T}^{STC'} = \sum FILI_i / \#(STC'_n)$ ,  $n=2,\dots,N$ , para todo  $i$  t.q.  $ST_i \in STC'_n$ ; es decir, la media aritmética de los valores  $FILI$  de todas las subtareas de la categoría  $STC'_n$ .

## Consideraciones prácticas de aplicación del modelo VLI

### Determinación de la clasificación $STC_T$

Las principales cuestiones prácticas de aplicación sobre la determinación de  $STC_T$  son el valor de  $TC_T$  y la relación de similitud sobre los valores  $FILI_T$  a utilizar.

$TC_T$  es un valor arbitrario que debe ser especificado por el analista. Para ser consistentes con el procedimiento de cálculo CLI, disminuyendo el dominio de casos en los que se omite la exigencia de algunas subtareas, debería ser menor a 10.

Se recomienda utilizar el valor  $TC_T = 6$ , como un valor compromiso, siendo suficientemente bajo para garantizar el buen funcionamiento de la fórmula en la gran mayoría de los casos, y suficientemente alto para perder la mínima información relativa a los requerimientos de cada subtask.

Respecto a qué relación de similitud utilizar sobre los valores  $FILI_T$  asociados a  $ST_T$ , el abanico de posibilidades es muy amplio para determinar el rango de valores  $FILI$  que determinan la pertenencia a cada categoría  $STC'_{i,T}$ .

$STC'_{i,T} : \{ST_j ; FILI_{j,T} \in [STC'^{FILImin}_{i,T}, STC'^{FILImax}_{i,T}]\}$ , donde  $STC'_{i,T}$  está definido por el rango de valores  $FILI$  que determinan su pertenencia;

Por ejemplo, se podría utilizar una clasificación en rangos de valores  $FILI_T$  uniformes. Es decir, sea  $FILI'_T = \{FILI_T, \leq\}$ , y por tanto,  $FILI'_{1,T}$  el valor mínimo del conjunto  $FILI_T$ , y  $FILI'_{NT,T}$  el valor máximo;

El rango de pertenencia a cada categoría  $STC'_{i,T}$  queda determinado por:

$$STC'^{FILImin}_{1,T} = FILI'_{1,T} \quad y \quad STC'^{FILImin}_{i,T} = STC'^{FILImin}_{i-1,T} + \frac{FILI'_{NT,T} - FILI'_{1,T}}{TC_T} ;$$

$$STC'^{FILImax}_{TC,T} = FILI'_{NT,T} \quad y \quad STC'^{FILImax}_{i,T} = STC'^{FILImin}_{i+1,T} .$$

Cabe notar que este sistema de clasificación no asegura el valor de  $TC_T$  establecido, por lo que puede existir  $i$ , tal que,  $\emptyset(STC_i) = 0$ , perdiendo substancial información sobre los requerimientos de la subtareas.

Por este motivo, se recomienda utilizar un sistema de clasificación basado en un criterio de posición sobre el conjunto ordenado  $FILI'_T$ , asegurando de esta forma que para todo  $i$ ,  $\emptyset(STC_i) \neq 0$ .

El criterio de posición recomendado es el uso de los percentiles. Si se establece  $TC_T = 6$ , se utilizarán los sextiles.

Utilizando este criterio, el rango de pertenencia a cada categoría  $STC'_{i,T}$  queda determinado por:

$$STC'^{FILImin}_{1,T} = FILI'_{1,T} \quad y \quad STC'^{FILImin}_{i,T} = FILI'_{i\_sextil,T} ;$$

$$STC'^{FILImax}_{TC,T} = FILI'_{NT,T} \quad y \quad STC'^{FILImax}_{i,T} = STC'^{FILImin}_{i+1,T} ;$$

siendo  $i\_sextil = \frac{i \times TC_T}{6}$ .

## Barreras para la determinación de $ST_T$

La identificación del conjunto  $ST_T$  con todas las características asociadas a cada  $ST_{i,T}$  plantea una barrera aplicativa importante desde un punto de vista práctico.

Recordemos que la determinación del conjunto  $ST_T$  implica la definición de todas subtareas de levantamiento de cargas de las que se compone la tarea  $T$ , estando definida cada subtarea por  $ST_{i,T}$ :  $\{L_{i,T}, L_i, V_i, H_i, D_i, C_i, A_i, F_i\}$ .

Y el número de subtareas que componen la tarea  $T$  está determinado por

$$N_T = \epsilon(L) \times \epsilon(V) \times \epsilon(H) \times \epsilon(D) \times \epsilon(C) \times \epsilon(A)$$

siendo,

$\epsilon(X)$  la función dimensión del dominio de valores de  $X$  en el trabajo analizado.

Es decir, cada subtarea  $ST_{i,T}$  viene definida por diferencias respecto a las otras subtareas en al menos una de sus variables o atributos: peso del objeto levantado, altura de agarre, distancia horizontal del agarre, dislocación vertical del trayecto, calidad del agarre y ángulo de asimetría.

En contextos de trabajo reales es muy frecuente la presencia de una alta dispersión en los valores de estas variables (ver capítulos §4 y §5), y por tanto, el valor de  $N_T$  es muy alto y dificulta mucho su análisis.

Veamos un ejemplo. Consideremos la tarea de reposición de bebidas en un centro comercial; aunque las bebidas son muy diversas, el peso de los envases latas, botellas y garrafas están bastante normalizados, y sólo se deben manipular 8 pesos diferentes, en un rango de 3 kg a 9 kg. En los levantamientos se observa que la altura de agarre y de depósito varía, dependiendo de la estantería donde se dejan, su posición en el palet de origen y su posición en el carro de transporte hasta el expositor; para cada producto, se miden 8 alturas diferentes de levantamiento (entre 0 y 150 cm), tanto en el origen como en el destino. Dependiendo también de su posición, se miden 3 distancias horizontales diferentes para cada producto (25, 45 y 55 cm). Consideremos el resto de variables como constantes.

En este escenario, tenemos  $N_T = 8 \times 8 \times 3 \times 8 \times 1 \times 1 = 1536$ .



Aunque se ha ilustrado un ejemplo bastante representativo de la variabilidad en los requerimientos de los puestos de trabajo, el dominio de análisis está representado por 1536 subtareas; sólo la dificultad y el tiempo requerido para enunciarlas es una barrera aplicativa importante para caracterizar la exposición al riesgo por levantamiento de cargas en puestos de trabajo de alta variabilidad.

Tal y como se ha demostrado en el capítulo §4, los profesionales que requieren evaluar este tipo de riesgo, ante dicha variabilidad aplican estrategias como evaluar únicamente la condición valorada como más penosa o más frecuente; estos tipos de estrategia subvaloran o sobrevaloran el riesgo de una forma significativa (ver en capítulo 1 las referencias que soportan este argumento).

En los casos de alta variabilidad, queda demostrada la necesidad de reducir la dimensionalidad del problema, previo a su análisis. En la siguiente sección se presenta el modelo propuesto para su reducción y posterior aplicación del VLI.

## Criterios de reducción de la dimensionalidad de $ST_T$

Ha quedado demostrada la necesidad de reducir la dimensionalidad de  $ST_T$  ( $N_T$ ) para el análisis de su exposición. Para reducir  $N_T$ , es necesario reducir la dimensión del dominio de valores de uno o varios de los atributos que caracterizan las subtareas  $ST_T$ .

A continuación, se proponen criterios de reducción de la dimensión del dominio de los valores de cada uno de los atributos de  $ST_T$ . Dependiendo de las características de  $T$ , en concreto, de sus fuentes de la variabilidad, se pueden aplicar todos los criterios de reducción o sólo algunos de ellos. Algunos de estos criterios de reducción ya han sido publicados [COLOMBINI et al., 2009]; en este apartado se desarrollan formalmente, se analizan sus implicaciones y se desarrollan propuestas de criterios adicionales.

## Reducción de la dimensión del atributo peso $L_T$ .

El atributo peso de los objetos levantados es el principal determinante del nivel de exigencia de una subtarea, puesto que el índice de levantamiento representa el ratio entre el peso levantado y el peso límite recomendado en las condiciones de levantamiento dadas.

Por otro lado, desde un punto de vista práctico, este atributo es normalmente mucho más fácil de determinar de forma precisa que el resto de atributos, tal y como se ha demostrado en el capítulo §4; el peso de los objetos levantados, en muchos casos, está incluso etiquetado en el objeto. Pero cuanto mayor precisión se aplique en su medición, mayor será la dimensión de valores.

Se plantean dos reducciones diferentes para el atributo  $L$ , la reducción externa y la reducción interna.

Siendo  $L_T : \{L_{1,T}, \dots, L_{N,T}\}$  el conjunto de valores del atributo peso implicados en la tarea  $T$ , donde  $N = \mathcal{C}(L)$ .

La reducción externa se define como:

$L_T^{ext} : \{L_{1,T}^{ext}, \dots, L_{M,T}^{ext}\}$ , un sistema de clasificación de  $L_T$ ;  $L_T^{ext} \subseteq L_T$ ; cuya relación de pertenencia a  $L_{i,T}^{ext}$  es de similitud de los valores del atributo  $L$ ; en concreto, la relación de pertenencia propuesta es la siguiente:

Sea el conjunto  $L_{i,T}^{ext} : \{L_{i,T} \in [L_{i,T}^{extmin}, L_{i,T}^{extmax}] \}$ , siendo  $L_{i,T}^{extmin} \in \mathbf{N}^*$ ;  $L_{i,T}^{extmax} \in \mathbf{N}^*$  y  $L_{i,T}^{extmax} - L_{i,T}^{extmin} = 1$ .

De esta forma, los datos sobre los pesos, suministrados por producción, compras, ventas o el etiquetaje, se considerarán con una precisión de 1 kg.

Tras aplicar la clasificación, para cada clase  $L_{i,T}^{ext}$  se tomará como valor representativo el valor medio:  $(L_{i,T}^{extmax} - L_{i,T}^{extmin})/2$ . Para simplificar la notación, de aquí en adelante, el valor representativo de la clase  $L_{i,T}^{ext}$  se denotará por  $L_i^{ext}$ . Y por tanto,  $L_T^{ext} : \{L_1^{ext}, \dots, L_M^{ext}\}$ , representará el conjunto de valores del atributo peso resultante de la reducción externa.

Se cumplirá que, siendo  $N = \mathcal{C}(L_T)$  y  $M = \mathcal{C}(L_T^{ext})$ ,  $M \leq N$  para todo  $T$ , y por tanto, es un sistema válido de reducción de la dimensionalidad de  $L$ .

El segundo criterio de reducción propuesto se ha llamado de reducción interna.

Se define la reducción interna como:

$L_T^{int} : \{L_{1,T}^{int}, \dots, L_{p,T}^{int}\}$ , un sistema de clasificación aplicado sobre  $L_T$ ;  $L_T^{int} \subseteq L_T$ ; cuya relación de pertenencia a  $L_{i,T}^{int}$  es de similitud de los valores del atributo L; en concreto, la relación de pertenencia propuesta es la siguiente:

Sea el conjunto  $L_{i,T}^{int} : \{L_{i,T} \in [L_{i,T}^{int_{min}}, L_{i,T}^{int_{max}}[ \}$ , y sea  $L'_T = \{L_T, \leq\}$ , el conjunto ordenado de valores de L, y por tanto,  $L'_{1,T}$  el valor mínimo del conjunto  $L_T$ , y  $L'_{N,T}$  el valor máximo;

entonces, el rango de pertenencia se define como:

$$L_{1,T}^{int_{min}} = L'_{1,T} \quad y \quad L_{i,T}^{int_{min}} = L_{i-1,T}^{int_{min}} + \frac{L'_{N,T} - L'_{1,T}}{P};$$

$$L_{N,T}^{int_{max}} = L'_{N,T} \quad y \quad L_{i,T}^{int_{max}} = L_{i+1,T}^{int_{min}};$$

El valor de P es arbitrario y deberá ser asignado por el analista. Se recomienda utilizar el valor de 5, principalmente cuando la tarea T tenga múltiples fuentes de variabilidad y se apliquen todos los criterios de reducción planteados sobre la dimensión de  $ST_T$ .

Tras aplicar la reducción interna, a cada clase  $L_{i,T}^{int}$  se le asignará un valor representativo de la clase  $L_i^{int}$  que se define como:

$$L_i^{int} = \frac{\sum_j F_j \times L_{j,T}}{\sum_j F_j}, \text{ para todo } j, \text{ tal que } L_{j,T} \in L_{i,T}^{int}.$$

Como la relación de pertenencia planteada no es de posición, puede existir i, tal que  $L_{i,T}^{int} = \emptyset$ ; en cuyos casos,  $\Theta(L_T^{int}) < P$ .

Se puede afirmar que para todo T,  $\Theta(L_T^{int}) \leq P \leq N$ , y por tanto, es un sistema válido de reducción de la dimensionalidad de L.

Este sistema de reducción aplicado sobre  $L_T$ , se puede aplicar también directamente sobre el resultado de aplicar la reducción externa  $L_T^{ext}$ ;  $L_T^{int} \subseteq L_T^{ext}$ ; obteniendo un mayor potencial de reducción de la dimensionalidad de  $L_T$ .

## Reducción de la dimensión del atributo altura de agarre $V_T$ .

El atributo altura de agarre  $V_i$  de una subtarea  $ST_{i,T}$  interviene en la caracterización de su nivel de exigencia mediante el multiplicador  $VM_i$  para el cálculo del peso límite recomendado  $RWL_i$ .

El valor de  $V_i$  representa los centímetros medidos desde el suelo al punto medio de agarre del objeto en el levantamiento, y la función  $VM_i$  es una función de variable real continua entre 0 y 175. Por lo que, cuanto mayor precisión se aplique en su medición, mayor será la dimensión de su dominio de valores.

El impacto del valor de  $V_i$  sobre  $LI_i$  es más limitado que en otros parámetros, puesto que el dominio de la función  $VM_i$  es  $[0,7; 1]$ . Por este motivo, se propone una reducción mayor que en otros atributos.

Cabe notar que la función  $VM_i$  es bilineal, cuyo máximo se produce en el valor 75.

Sea  $V_T : \{V_{1,T}, \dots, V_{N,T}\}$  el conjunto de valores del atributo altura de agarre implicados en la tarea  $T$ , donde  $N = \mathcal{C}(V_T)$ .

Se proponen dos reducciones diferentes del atributo  $V$ , una reducción externa y una reducción interna.

La reducción externa se define como:

$V_T^{ext} : \{V_{1,T}^{ext}, \dots, V_{Q,T}^{ext}\}$ , un sistema de clasificación de  $V_T$ ;  $V_T^{ext} \subseteq V_T$ ; cuya relación de pertenencia a  $V_{i,T}^{ext}$  es de similitud de los valores del atributo  $V$ ; en concreto, la relación de pertenencia propuesta es la siguiente:

Sea el conjunto  $V_{i,T}^{ext} : \{V_{i,T} \in [V_{i,T}^{ext_{min}}, V_{i,T}^{ext_{max}}[ \}$ , siendo  $V_{i,T}^{ext_{min}} \in \mathbf{N}^*$ ;  $V_{i,T}^{ext_{max}} \in \mathbf{N}^*$  y  $V_{i,T}^{ext_{max}} - V_{i,T}^{ext_{min}} = 10$ .

Es decir, los valores del atributo  $V$  se considerarán con una precisión máxima de 10cm.

Tras aplicar la clasificación, para cada clase  $V_{i,T}^{ext}$  se tomará como valor representativo  $V_{i,T}^{ext_{min}}$ . Para simplificar la notación, de aquí en adelante, el valor represen-

tativo de la clase  $V_{i,T}^{ext}$  se denotará por  $V_i^{ext}$ . Y por tanto,  $V_T^{ext} : \{V_1^{ext}, \dots, V_Q^{ext}\}$ , representará el conjunto de valores del atributo altura de agarre resultante de la reducción externa.

Se cumplirá que, siendo  $N = \mathcal{C}(V_T)$  y  $Q = \mathcal{C}(V_T^{ext})$ ,  $Q \leq N$  para todo  $T$ , y por tanto, es un sistema válido de reducción de la dimensionalidad de  $V$ .

Respecto a la reducción interna, se compone de dos pasos, que llamaremos reducción de nivel 1 y reducción de nivel 2, incrementando ésta última su poder reductor.

La reducción de nivel 1 propuesta se define como:

$V_T^{R1} : \{V_{G,T}^{R1}, V_{L,T}^{R1}, V_{H,T}^{R1}\}$ , un sistema de clasificación de  $V_T$ ;  $V_T^{R1} \subseteq V_T$ ; cuya relación de pertenencia a  $V_{G,T}^R, V_{L,T}^R$  y  $V_{H,T}^R$  queda definida por:

$$V_{G,T}^{R1} : \{V_{i,T} \in [50 ; 125] \};$$

$$V_{L,T}^{R1} : \{V_{i,T} \in [0 ; 50[ \};$$

$$V_{H,T}^{R1} : \{V_{i,T} \in ]125 ; 175] \};$$

Puede existir  $T$ , tal que  $V_{G,T}^{R1} = \emptyset$ , o bien  $T$ , tal que  $V_{L,T}^{R1} = \emptyset$ ; o bien  $T$ , tal que  $V_{H,T}^{R1} = \emptyset$ ; si se cumple una de las tres condiciones, entonces  $\mathcal{C}(V_T^{R1}) = 2$ ; si se cumplen dos de las tres condiciones, entonces  $\mathcal{C}(V_T^{R1}) = 1$ ; pero no puede existir  $T$ , tal que  $V_{G,T}^{R1} = \emptyset$ ,  $V_{L,T}^{R1} = \emptyset$  y  $V_{H,T}^{R1} = \emptyset$ . Si no se cumple ninguna de las condiciones anteriores,  $\mathcal{C}(V_T^{R1}) = 3$ .

Por tanto, se puede afirmar que para todo  $T$ ,  $\mathcal{C}(V_T^{R1}) \leq N$ , y por tanto, es un sistema válido de reducción de la dimensionalidad de  $V_T$ .

La reducción de nivel 2 propuesta se define como:

$V_T^R : \{V_{G,T}^R, V_{L/H,T}^R\}$ , un sistema de clasificación de  $V_T$ ;  $V_T^R \subseteq V_T$ ; cuya relación de pertenencia a  $V_{G,T}^R$  y  $V_{L/H,T}^R$  queda definida por:

$$V_{G,T}^R : \{V_{i,T} \in V_{G,T}^{R1} \};$$

$$V_{L/H,T}^R : \{V_{i,T} \in V_{L,T}^{R1} \cup V_{H,T}^{R1} \};$$

Tras aplicar la reducción propuesta, a cada clase de  $V_T^R$  se les asignará un valor representativo,  $V_G^R$  y  $V_{L/H}^R$  respectivamente:

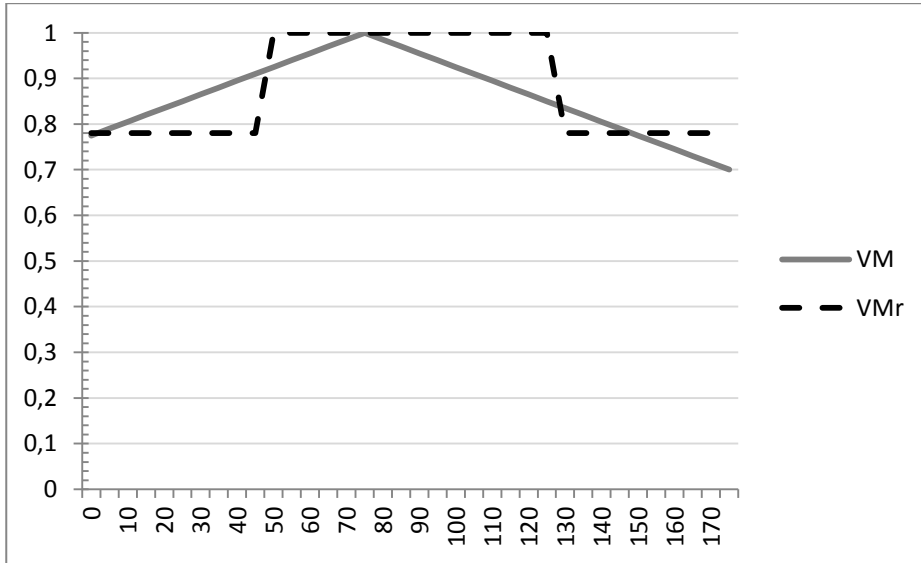
$$V_G^R = 75;$$

$$V_{L/H}^R = 0.$$

Puede existir  $T$ , tal que  $V_{G,T}^R = \emptyset$ , o bien  $T$ , tal que  $V_{L/H,T}^R = \emptyset$ ; en cualquiera de los dos casos,  $\mathcal{C}(V_T^R) = 1$ . En el resto de casos,  $\mathcal{C}(V_T^R) = 2$ .

Por tanto, se puede afirmar que para todo  $T$ ,  $\mathcal{C}(V_T^R) \leq N$ , y por tanto, es un sistema válido de reducción de la dimensionalidad de  $V_T$ .

El resultado de aplicar esta reducción se ilustra en la siguiente **figura 6.1**, donde se representa la función VM aplicada sobre  $V_T$  y la función VM aplicada sobre  $V_T^R$ , denotada como  $VM_R$ .



**Figura 6.1.** Función VM original respecto a la función del espacio reducido  $VMr$ .

Dado que  $VM(V_G^R) = 1$  y  $VM(V_{L/H}^R) = 0,775$ , la reducción propuesta subvalora las subtareas  $ST_i$  tal que  $V_{i,T} \neq 75$ , siendo  $V_{i,T} \in V_{G,T}^R$ ; y sobrevalora las subtareas  $ST_i$  tal que  $\{V_{i,T} > 0 \cup V_{i,T} < 150\}$ , siendo  $V_{i,T} \in V_{L/H,T}^R$ .

Se considera que este criterio de reducción es una buena aproximación por que,

en actividades de alta variabilidad, las sobrevaloraciones realizadas en algunas subtareas quedarán compensadas con las subvaloraciones en otras subtareas.

## **Reducción de la dimensión del atributo distancia horizontal $H_T$ .**

El atributo distancia horizontal de agarre del objeto levantado  $H_i$  de una subtarea  $ST_{i,T}$  interviene en la caracterización de su nivel de exigencia mediante el multiplicador  $HM_i$  para el cálculo del peso límite recomendado  $RWL_i$ .

El valor de  $H_i$  representa los centímetros medidos en el plano horizontal desde el punto medio en la proyección de los tobillos hasta el punto medio de agarre del objeto en el levantamiento, y la función  $HM_i$  es una función de variable real continua entre 25 y 63. Por lo que, cuanto mayor precisión se aplique en su medición, mayor será la dimensión del dominio de valores.

El impacto del valor de  $H_i$  sobre  $LI_i$  es el mayor de entre todos los atributos posturales, puesto que el dominio de la función  $HM_i$  es  $[0,397; 1]$ . Este hecho requiere que la reducción posible sobre este atributo no sea excesiva para no perder información sobre la exigencia.

Pero, por otro lado, desde un punto de vista práctico, este atributo es difícil de medir (ver demostración en capítulo 4). Así como el atributo  $V$ , en muchos casos, se puede medir en el puesto de trabajo incluso sin actividad, a partir de la altura de las estanterías y las dimensiones del objeto manipulado, la medición del atributo  $H$  requiere realizarlo durante la actividad, idealmente manteniendo la persona trabajadora en la postura estática del levantamiento mientras se realizan las mediciones. En la mayoría de casos, no es posible realizar las mediciones en tales condiciones, y se toman referencias visuales para posteriormente medir las distancias.

Mientras  $H$  es un atributo de mayor sensibilidad al resultado de  $LI_T$  que otros, su medición es menos precisa. Por este motivo, se propone una reducción considerable sobre su dimensión, pero menor a la propuesta para el atributo  $V$ .

Sea  $H_T : \{H_{1,T}, \dots, H_{N,T}\}$  el conjunto de valores del atributo distancia horizontal implicados en la tarea T, donde  $N = \mathcal{C}(H_T)$ .

La reducción propuesta se define como:

$H_T^R : \{H_{NE,T}^R, H_{MO,T}^R, H_{FA,T}^R\}$ , un sistema de clasificación de  $H_T$ ;  $H_T^R \subseteq H_T$  ; cuya relación de pertenencia a  $H_{NE,T}^R, H_{MO,T}^R$  y  $H_{FA,T}^R$  queda definida por:

$$H_{NE,T}^R: \{H_{i,T} \in [25 ; 40] \};$$

$$H_{MO,T}^R: \{H_{i,T} \in ]40 ; 50] \};$$

$$H_{FA,T}^R: \{H_{i,T} \in ]50 ; 63] \};$$

Tras aplicar la reducción propuesta, a cada clase de  $H_T^R$  se les asignará un valor representativo,  $H_{NE}^R, H_{MO}^R$  y  $H_{FA}^R$  respectivamente:

$$H_{NE}^R = 35;$$

$$H_{MO}^R = 45;$$

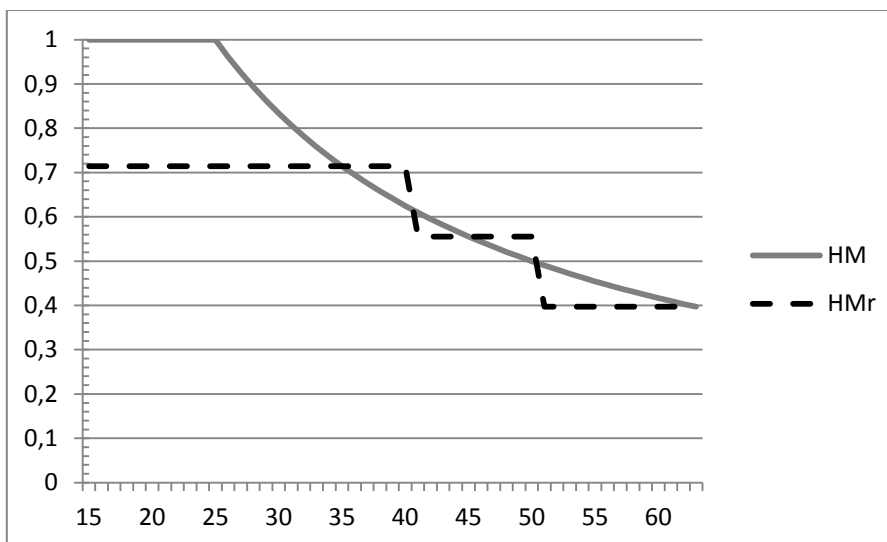
$$H_{FA}^R = 63.$$

Puede existir T, tal que  $H_{NE,T}^R = \emptyset$  , o bien  $H_{MO,T}^R = \emptyset$ , o bien  $H_{FA,T}^R = \emptyset$  ; pero se puede afirmar que  $1 \leq \mathcal{C}(H_T^R) \leq 3$ .

Y para todo T,  $\mathcal{C}(H_T^R) \leq N$ , y por tanto, es un sistema válido de reducción de la dimensionalidad de H.

El resultado de aplicar esta reducción se ilustra en la siguiente **figura 6.2**, donde se representa la función HM aplicada sobre  $H_T$  y la función HM aplicada sobre  $H_T^R$  denotada como  $HM_r$ .





**Figura 6.2.** Función HM original respecto a la función del espacio reducido HMr.

$HM_R$  es una función discontinua, cuyo dominio son tres escalones de valores  $\{0,714; 0,556; 0,397\}$ .

Como se puede observar en la figura, los valores menores de  $H_{NE,T}^R$  se sobrevaloran y los superiores se subvaloran; los valores menores de  $H_{MO,T}^R$  se sobrevaloran y los superiores se subvaloran; y prácticamente para todo valor de  $H_{FA,T}^R$  se sobrevalora.

Para el caso de  $H_{NE,T}^R$ , se asume que, desde un punto de vista práctico, los valores más bajos de su pertenencia es muy difícil que estén presentes, debido a las dimensiones mínimas de los objetos manipulados y la dimensión antropométrica del tórax, que genera una distancia mínima al centro de masas del cuerpo.

Esta reducción se ha definido bajo el propósito que, debido a la gran cantidad de valores en las tareas de alta variabilidad, finalmente quedarán compensados los subvaloraciones con las sobrevaloraciones.

## Reducción de la dimensión del atributo dislocación vertical $D_T$ .

El atributo dislocación vertical del trayecto del objeto levantado  $D_i$  de una subtarea  $ST_{i,T}$  interviene en la caracterización de su nivel de exigencia mediante el multiplicador  $DM_i$  para el cálculo del peso límite recomendado  $RWL_i$ .

El valor de  $D_i$  representa los centímetros medidos en el plano vertical de la máxima trayectoria vertical del punto medio de agarre del objeto entre el origen y el depósito del levantamiento, y la función  $DM_i$  es una función de variable real continua entre 0 y 175. Por lo que, cuanto mayor precisión se aplique en su medición, mayor será la dimensión de valores.

El impacto del valor de  $D_i$  sobre  $LI_i$  es pequeño comparado a otros atributos posturales, puesto que el dominio de la función  $DM_i$  es  $[0,846; 1]$ .

Sea  $D_T : \{D_{1,T}, \dots, D_{N,T}\}$  el conjunto de valores del atributo dislocación vertical implicados en la tarea  $T$ , donde  $N = \#(D_T)$ .

La reducción propuesta se define como:

$D_T^R : \{D_{CTE,T}^R\}$ , un sistema de clasificación de  $D_T$ ;  $D_T^R \subseteq D_T$ ; cuya relación de pertenencia a  $D_{CTE,T}^R$  es la equivalencia:

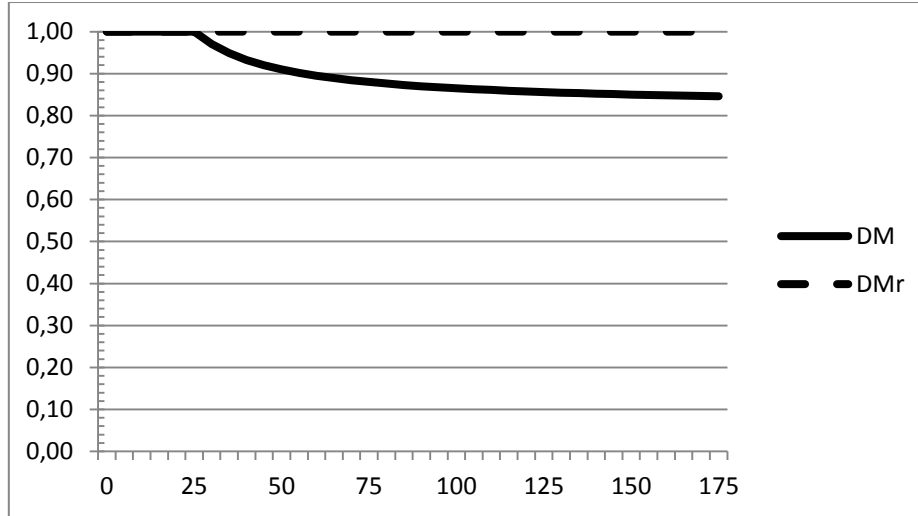
$$D_{CTE,T}^R : \{D_{i,T} \in [0; 175]\}; \text{ es decir, } \forall D_{i,T} \in D_T, D_{i,T} \in D_{CTE,T}^R ;$$

Tras aplicar la reducción propuesta, a la clase  $D_{CTE,T}^R$  se le asignará un valor representativo ( $D_{CTE}^R$ ). El valor representativo  $D_{CTE}^R$  de la clase  $D_{CTE,T}^R$ , evidentemente, deberá ser un valor del rango  $[0; 175]$ . Se propone utilizar el valor 0.

Es trivial que  $\forall T$ , tal que  $ST_T \neq \emptyset$ ,  $D_{CTE,T}^R \neq \emptyset$ .

Tal y como se ha definido  $D_T^R$ ,  $\#(D_T^R) = 1 \leq N$ , y por tanto, es un sistema válido de reducción de la dimensionalidad de  $D$ .

El resultado de aplicar esta reducción se ilustra en la siguiente **figura 6.3**, donde se representa la función  $DM$  aplicada sobre  $D_T$  y la función  $DM$  aplicada sobre  $D_T^R$  denotada como  $DM_r$ .



**Figura 6.3.** Función DM original respecto a la función del espacio reducido DMr.

Desde el punto de vista práctico, en el análisis de tareas de alta variabilidad, es difícil determinar los valores  $D_i$ . Frecuentemente, incluso considerando el mismo objeto levantado (peso determinado), las posiciones en el origen y en el destino son muy diversas (para cualquier altura de levantamiento en el origen se puede depositar a cualquier altura en el destino).

Consideremos tres tareas de levantamiento bastante representativas de los requerimientos en todos los sectores productivos, donde un objeto de 25 cm de alto, está apilado, tanto en el origen como en el depósito del levantamiento, siendo el número de columnas de apilación alto.

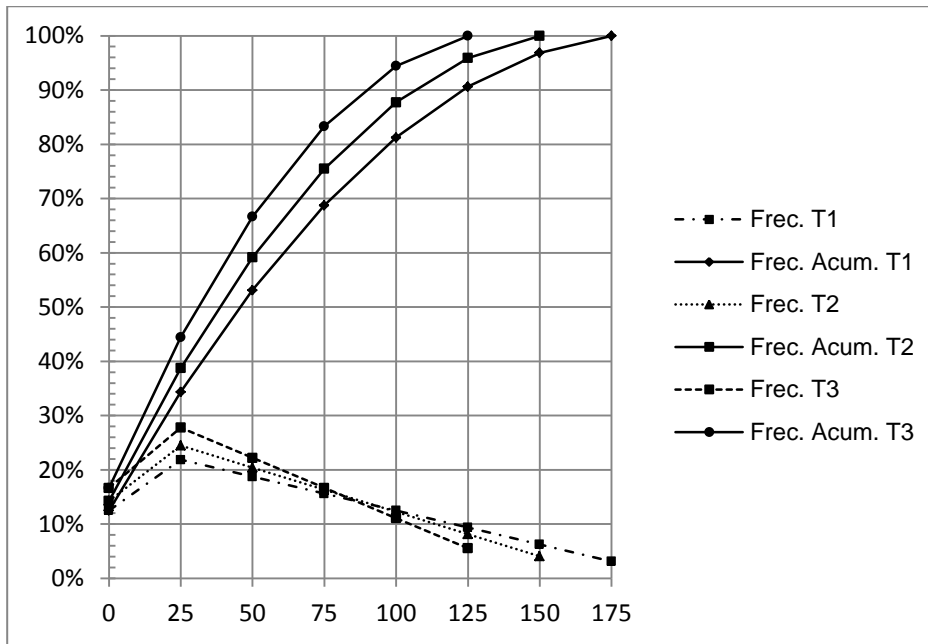
Sea  $T_1$ ,  $V_{T1}:\{0; 25; 50; 75; 100; 125; 150; 175\}$ , en la que  $\forall j, k \in V_T$ ,  $\exists ST_i$  tal que,  $V_i = V_j$  y  $D_i = \text{abs}(V_k - V_j)$ , siendo  $V_k$  la altura en el depósito del levantamiento. Y por tanto,  $D_{T1}:\{0; 25; 50; 75; 100; 125; 150; 175\}$ .

Sea  $T_2$ ,  $V_{T2}:\{0; 25; 50; 75; 100; 125; 150\}$ , en la que  $\forall j, k \in V_T$ ,  $\exists ST_i$  tal que,  $V_i = V_j$  y  $D_i = \text{abs}(V_k - V_j)$ , siendo  $V_k$  la altura en el depósito del levantamiento. Y por tanto,  $D_{T2}:\{0; 25; 50; 75; 100; 125; 150\}$ .

Sea  $T_3$ ,  $V_{T3}:\{25; 50; 75; 100; 125; 150\}$ , en la que  $\forall j, k \in V_T$ ,  $\exists ST_i$  tal que,  $V_i = V_j$  y  $D_i = \text{abs}(V_k - V_j)$ , siendo  $V_k$  la altura en el depósito del levantamiento. Y por tanto,  $D_{T3}:\{0; 25; 50; 75; 100; 125\}$ .

Considerando el resto de atributos iguales en todas las subtareas, tendremos que:  
 $N_{T1} = 64$ ;  $N_{T2} = 49$  y  $N_{T3} = 36$ .

En la siguiente **figura 6.4.**, se muestran cómo se distribuyen los datos de los conjuntos de  $D_{T1}$ ,  $D_{T2}$  y  $D_{T3}$ .



**Figura 6.4.** Distribución de los datos de los conjuntos  $D_{T1}$ ,  $D_{T2}$  y  $D_{T3}$ .

El valor predominante del dominio de la función  $DM$  para las tres tareas es 1. Cabe recordar que  $DM(D_i) = 1$ ,  $\forall D_i$ , tal que  $D_i \in [0 ; 25]$ .

Se cumple que,

$DM_{T1}(D_i) = 1$ , para el 34% de las subtareas.

$DM_{T2}(D_i) = 1$ , para el 39% de las subtareas.

$DM_{T3}(D_i) = 1$ , para el 44% de las subtareas.

Como  $DM(0)=1$ , se ha propuesto asignar  $D_{CTE}^R = 0$ ; de esta forma, aunque la reducción propuesta para este atributo sea totalitaria (se transforma en constante), el impacto sobre la caracterización del nivel de exigencia de la tarea será mínimo,

por que corresponde con el valor preciso para más de un tercio de las subtareas en la mayoría de los casos. Además, desde un punto de vista práctico, el dominio del atributo  $D_i$  frecuentemente suele ser bastante reducido. A partir del análisis de 1.063 casos [DEMPSEY, 2003], se encontró que el desplazamiento vertical en la mitad de los casos no supera los 30 cm en los levantamientos de ascenso de cargas y los 38 cm en los levantamientos de descenso de cargas.

Para el resto de subtareas (66%, 61% y 56% respectivamente para  $T_1$ ,  $T_2$  y  $T_3$ ), la reducción propuesta tendrá un efecto de subvaloración. Esta subvaloración puede quedar compensada al aplicar la reducción sobre el atributo  $C_T$  que se presenta a continuación.

En caso que la reducción sobre el atributo  $C_T$  no se aplique, o sea evidente que su impacto no implicará una sobrevaloración, el analista puede valorar la posibilidad de aplicar  $D_{CTE}^R = 50$ ; siendo  $DM(50)=0,91$ . Esta alternativa corresponde con el valor preciso del 19%, 20% y 22% de las subtareas para las tareas  $T_1$ ,  $T_2$  y  $T_3$  respectivamente; sobrevalorando el 34%, 39% y 44% de las subtareas y subvalorando el 47%, 41% y 33% de las subtareas para  $T_1$ ,  $T_2$  y  $T_3$  respectivamente. El porcentaje de casos que se conservarán con su valor preciso disminuye, pero se aumenta la compensación de casos subvalorados con los sobrevalorados.

## Reducción de la dimensión del atributo calidad del agarre $C_T$ .

El atributo calidad de agarre del objeto levantado  $C_i$  de una subtarea  $ST_{i,T}$  interviene en la caracterización de su nivel de exigencia mediante el multiplicador  $CM_i$  para el cálculo del peso límite recomendado  $RWL_i$ .

El valor de  $C_i$  es una etiqueta representando la calidad del agarre que permite el objeto desde el punto de vista que facilite o no la realización del esfuerzo físico, y la función  $CM_i$  es una función cualitativa, cuya álgebra está definida en la **tabla 3.1**. Por lo que, cuanta mayor precisión se aplique en su medición, mayor será la dimensión del dominio de valores.

El impacto del valor de  $C_i$  sobre  $LI_i$  es el menor de entre todos los atributos posturales, puesto que el dominio de la función  $CM_i$  es  $[0,9; 1]$ .

De forma general,  $\Theta(C_T) = 3$ , siendo  $C_T : \{\text{"buena"}; \text{"media"}; \text{"mala"}\}$  un conjunto cualitativo ordenado.

Sea  $C_T : \{C_{1,T}, \dots, C_{N,T}\}$  el conjunto ordenado de valores del atributo calidad de agarre implicados en la tarea T, donde  $N = \Theta(C_T) \leq 3$ .

La reducción propuesta se define como:

$C_T^R : \{C_{CTE,T}^R\}$ , un sistema de clasificación de  $C_T$ ;  $C_T^R \subseteq C_T$ ; cuya relación de pertenencia a  $C_{CTE,T}^R$  es la equivalencia:

es decir,  $\forall C_{i,T} \in C_T, C_{i,T} \in C_{CTE,T}^R$  ;

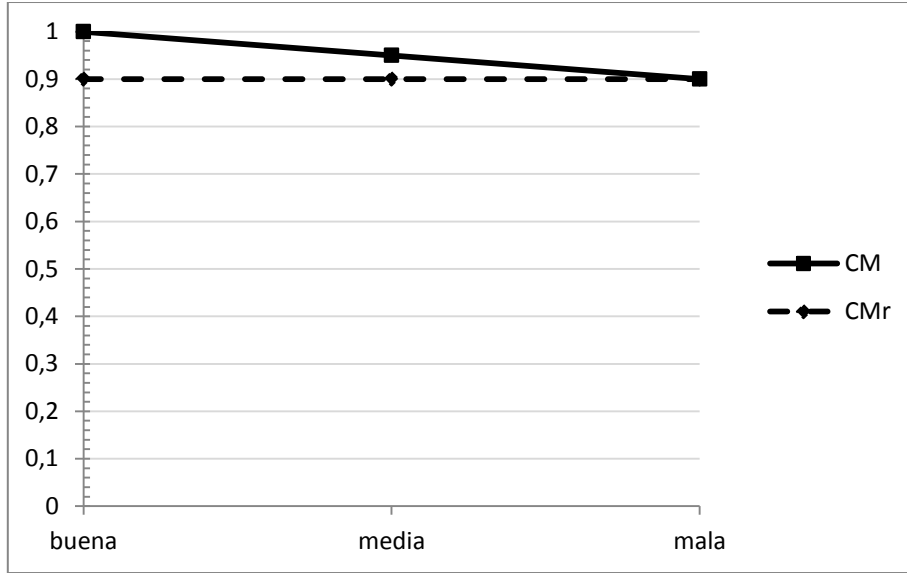
Tras aplicar la reducción propuesta, a la clase  $C_{CTE,T}^R$  se le asignará un valor representativo ( $C_{CTE}^R$ ). El valor representativo  $C_{CTE}^R$  de la clase  $C_{CTE,T}^R$ , evidentemente, deberá ser tal que  $C_{CTE}^R \in \{\text{"buena"}; \text{"media"}; \text{"mala"}\}$ .

Se propone utilizar el valor  $C_{CTE}^R = \text{"mala"}$ . Como se ha demostrado en los capítulos §4 y §5, el valor propuesto parece bastante razonable, representado la mayoría de los casos presentes en las empresas.

Es trivial que  $\forall T$ , tal que  $ST_T \neq \emptyset$ ,  $C_{CTE,T}^R \neq \emptyset$ .

Tal y como se ha definido  $C_T^R$ ,  $\Theta(C_T^R) = 1 \leq N$ , y por tanto, es un sistema válido de reducción de la dimensionalidad de  $C_T$ .

El resultado de aplicar esta reducción se ilustra en la siguiente **figura 6.5**, donde se representa la función CM aplicada sobre  $C_T$  y la función CM aplicada sobre  $C_T^R$  denotada como  $CM_R$ .



**Figura 6.5.** Función CM original respecto a la función del espacio reducido CMr.

Siendo  $C_{G/M,T}$  y  $C_{B,T}$  dos subconjuntos de  $C_T$ , definidos como  $C_{G/M,T}:\{\text{"buena", "media"}\}$ ,  $C_{B,T}:\{\text{"mala"}\}$ , el valor representativo propuesto,  $C_{CTE}^R = \text{"mala"}$ , corresponde al valor preciso de los casos  $C_i \in C_{B,T}$ ; y sobrevalora las sub-tareas donde  $C_i \in C_{G/M,T}$ .

La reducción propuesta se ha basado principalmente en criterios prácticos; se considera que el porcentaje de casos de sub-tareas tal que  $C_i \in C_{G/M,T}$  en entornos de alta variabilidad es cercano a 0.

$C_i \in C_{G/M,T}$  sys (el objeto levantado tiene asas)  $\cup$  (se usan las asas agarrándolas correctamente).

Se puede afirmar que, en trabajos que implican una alta variabilidad en el levantamiento de objetos, es raro que se cumpla esta condición.

Obviamente, si se analizara un caso donde la mayoría de sub-tareas son tales que  $C_i \in C_{G/M,T}$ , entonces se puede asignar otro valor a  $C_{CTE}^R$ , tal que  $C_{CTE}^R \in C_{G/M,T}$ .

## Reducción de la dimensión del atributo asimetría $A_T$ .

El atributo asimetría en el levantamiento  $A_i$  de una subtarea  $ST_{i,T}$  interviene en la caracterización de su nivel de exigencia mediante el multiplicador  $AM_i$  para el cálculo del peso límite recomendado  $RWL_i$ .

El valor de  $A_i$  representa los grados de asimetría del tronco respecto al plano sagital al realizar el levantamiento, y la función  $AM_i$  es una función lineal de variable real continua entre 0 y 135. Por lo que, cuanto mayor precisión se aplique en su medición, mayor será la dimensión de valores.

El impacto del valor de  $A_i$  sobre  $LI_i$  es el segundo mayor de entre todos los atributos posturales, después de  $H_i$ , puesto que el dominio de la función  $AM_i$  es  $[0,568; 1]$ , cuya pendiente negativa reduce aproximadamente en un 10% el valor del  $RWL_i$  cada  $30^\circ$ , desde  $0^\circ$  a  $135^\circ$ .

Desde el punto de vista aplicativo, cabe realizar dos hipótesis:

1. El dominio del atributo  $A_i$  se puede considerar preventivo, al incluir un subconjunto de valores que en la práctica es muy difícil que exista ese requerimiento de trabajo, y son penalizados de forma muy exigente por la función  $AM_i$ ; se puede afirmar que el rango operativo del atributo  $A_i$  es  $[0; 90]$ . En la experiencia práctica personal de análisis de puestos de trabajo y actividades, no se ha identificado nunca una situación donde  $A_i > 90$ .
2. El atributo  $A_i$  es el parámetro más difícil de identificar y medir, tal y como se ha demostrado en el capítulo 4; en la mayoría de los casos, la posición de los pies y la cadera no es frontal al plano de agarre del objeto en el momento del levantamiento. En el análisis de actividades laborales reales, los analistas normalmente estiman este parámetro a partir de la observación directa o del registro videográfico realizado.

Por estos motivos, se propone una doble reducción sobre su dimensión, de acuerdo a la capacidad de aplicación en situaciones reales.

Sea  $A_T : \{A_{1,T}, \dots, A_{N,T}\}$  el conjunto de valores del atributo asimetría implicados en la tarea T, donde  $N = \epsilon(A_T)$ .



La reducción propuesta se define como:

$A_T^R : \{A_{0,T}^R, A_{1,T}^R\}$ , un sistema de clasificación de  $A_T$ ;  $A_T^R \subseteq A_T$  ; cuya relación de pertenencia a  $A_{0,T}^R$  y  $A_{1,T}^R$  queda definida por:

$$A_{0,T}^R : \{A_{i,T} \in [0 ; 45[ \};$$

$$A_{1,T}^R : \{A_{i,T} \in [45 ; 135] \}$$

Aunque, como se ha justificado antes, en la práctica,  $\{A_{i,T} \in ]90 ; 135] \} = \emptyset$ , por consistencia, se ha mantenido en el dominio de  $A_i$ .

Tras aplicar la reducción propuesta, a cada clase de  $A_T^R$  se les asignará un valor representativo,  $A_0^R$  y  $A_1^R$  respectivamente:

$$A_0^R = 0;$$

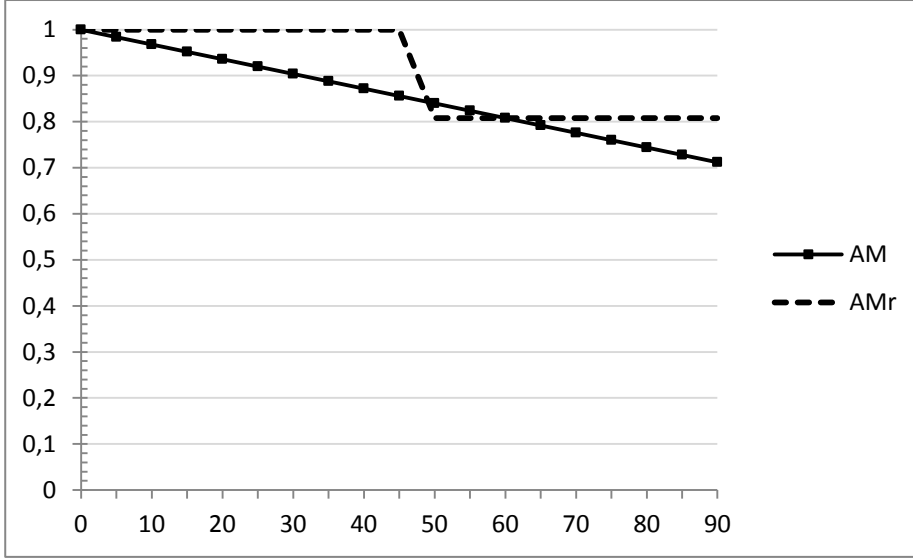
$$A_1^R = 60;$$

Puede existir  $T$ , tal que  $A_{0,T}^R = \emptyset$  , o bien  $A_{1,T}^R = \emptyset$ ; pero se puede afirmar que  $1 \leq \#(A_T^R) \leq 2$ . Como resultado, se puede afirmar que  $\#(A_T^R) \leq N$ , y por tanto, es un sistema válido de reducción de la dimensionalidad de  $A_T$ .

El resultado de aplicar esta reducción se ilustra en la siguiente **figura 6.6.**, donde se representa la función AM aplicada sobre  $A_T$  y la función AM aplicada sobre  $A_T^R$  denotada como  $AM_R$ .

$AM_R$  es una función discontinua, cuyo dominio son tres escalones de valores  $\{0,808; 1\}$ . Como se puede observar en la figura, los valores  $A_{i,T} \in A_{0,T}^R$  se subvaloran; los valores  $A_{i,T} \in A_{1,T}^R$ , un subconjunto  $A_{i,T} \in [45 ; 60]$  se sobrevalora, y otro subconjunto  $A_{i,T} \in [60 ; 135]$  se subvalora.

Tal y como se argumentó anteriormente, el atributo  $A_i$  es difícil de identificar y estimar, sobre todo para valores pequeños; por este motivo, la clase  $A_{0,T}^R$  se propone valorarla como si no se realiza asimetría en el levantamiento ( $A_i = 0$ ). En cambio, es fácil identificar los casos pertenecientes a la clase  $A_{1,T}^R$ , incluso mediante la observación directa de la actividad.



**Figura 6.6.** Función AM original respecto a la función del espacio reducido AMr.

La interpretación práctica de esta reducción sería la siguiente: Si para una sub-tarea es incierto si se realiza asimetría o no, se le asignará a la clase  $A_{0,T}^R$ ; si, en cambio, es evidente que se realiza una asimetría significativa, se le asignará a la clase  $A_{1,T}^R$ .

Adicionalmente, con el objetivo de obtener una suficiente reducción de la dimensionalidad de  $S_T$ , se propone realizar una segunda reducción a la dimensión de  $A_T$ .

$A_T^{R'} : \{A_{CTE,T}^{R'}\}$ , un sistema de clasificación de  $A_T$ ;  $A_T^{R'} \subseteq A_T$ ; cuya relación de pertenencia a  $A_{CTE,T}^{R'}$  se define como:

$$A_{CTE,T}^{R'} : \{A_{i,T} \in A_T\};$$

A la clase  $A_{CTE,T}^{R'}$  se le asignará un valor representativo ( $A_{CTE}^{R'}$ ). Se propone utilizar el siguiente valor:

$$A_{CTE}^{R'} = A_0^R; \text{ syss } \Phi(A_{0,T}^R)/N < 0,5;$$

$$A_{CTE}^{R'} = A_1^R; \text{ syss } \Phi(A_{1,T}^R)/N \geq 0,5;$$

Es trivial que  $\forall T$ , tal que  $ST_T \neq \emptyset$ ,  $A_{CTE,T}^{R'} \neq \emptyset$ .

Tal y como se ha definido  $A_T^{R'}$ ,  $\Theta(A_T^{R'}) = 1 \leq N$ , y por tanto, es un sistema válido de reducción de la dimensionalidad de  $A_T$ .

Es recomendable aplicar esta segunda reducción en tareas de alta variabilidad, donde su interpretación práctica sería tomar como valor constante equivalente a que no se realiza asimetría, excepto que si se realiza una asimetría significativa en la mitad o más de los levantamientos realizados.

## Aplicación integral de los criterios de reducción

### Aplicación de la reducción a un atributo

Se define por aplicación integral de los criterios de reducción al uso del modelo VLI sobre el conjunto de subtareas virtuales  $ST'_T$  resultante de aplicar las reducciones de dimensionalidad propuestas sobre todos los atributos de  $ST_T$  planteados.

Para presentar el procedimiento de aplicación integral de los criterios de reducción, se describe inicialmente el procedimiento de aplicación del modelo VLI al resultado de aplicar la reducción de dimensionalidad de sólo uno de los atributos de  $ST_T$ .

Sea  $ST_T: \{ST_{1,T}, \dots, ST_{N,T}\}$  el conjunto de subtareas de la tarea  $T$ ; sea  $AT_T: \{L_T, V_T, H_T, D_T, C_T, A_T\}$  el subconjunto de atributos reducibles que definen cada subtarea; y sea  $X_T \in AT_T$  el atributo de este subconjunto al que se le aplica el criterio de reducción de su dimensionalidad. El resultado de aplicar el criterio de reducción sobre la dimensionalidad de  $X_T$  es un sistema de clasificación de  $X_T$ , que llamaremos  $X_T^R \subseteq X_T$ ;

$X_T^R: \{X_{1,T}^R, \dots, X_{Q,T}^R\}$ , siendo  $X_{i,T}^R$  una clase formada por un subconjunto de valores del atributo  $X_T$ .

Sea un nuevo sistema de clasificación de  $ST_T$ , que llamaremos  $ST_T^R \subseteq ST_T$ ;

$ST_T^R: \{ST_{1,T}^R, \dots, ST_{Q,T}^R\}$ , siendo  $ST_{i,T}^R$  una clase formada por un subconjunto de sub-tareas  $ST_{i,T} \in ST_T$ , tal que  $X_{i,T} \in X_{i,T}^R$ .

En el procedimiento de reducción de cada atributo  $X_T$ , se ha proporcionado el criterio para asignar un valor representativo del atributo  $X_i^R$  a cada una de las clases  $X_{i,T}^R$ .

Se define un nuevo conjunto de sub-tareas  $ST_T'': \{ST_{1,T}'', \dots, ST_{N,T}''\}$ , siendo  $AT_T'': \{L_T'', V_T'', H_T'', D_T'', C_T'', A_T''\}$  el subconjunto de atributos reducibles que definen cada sub-tarea de  $ST_T''$ , como el resultado de una transformación  $\Psi$  sobre  $ST_T$ :

$ST_T'' = \Psi(ST_T)$ , definida como:  $\{\forall ST_{j,T}'' \in ST_{i,T}^R; \text{ si } Y_T'' \neq X_T; Y_{j,T}'' = Y_{j,T}; \text{ si } Y_T'' = X_T; Y_{j,T}'' = X_i^R\}$ , donde  $Y_T'' \in AT_T''$  e  $Y_T \in AT_T$ .

Ahora, se puede definir el conjunto finito de sub-tareas virtuales que componen la tarea T como:

$ST_T': \{ST_{1,T}', \dots, ST_{P,T}'\}$ , estando definida cada sub-tarea  $ST_{i,T}'$  por los valores de sus atributos,  $\{LI_i', L_i', V_i', H_i', D_i', C_i', A_i', F_i'\}$ , como  $ST_T' = \{ST_{i,T}''; \nexists j \text{ tq. } \forall Y_T'' \in AT_T'', Y_{i,T}'' = Y_{j,T}''\} \cup \theta(ST_T'')$ ;

Siendo  $\theta(ST_T'')$ , la función definida como:  $\{ST_{k,T}' = (LI_k', L_k', V_k', H_k', D_k', C_k', A_k', F_k'), \forall ST_{i,T}'', ST_{j,T}'', \text{ tq. } \forall Y_T'' \in AT_T'', Y_{i,T}'' = Y_{j,T}''; L_k' = L_{j,T}''; V_k' = V_{j,T}''; H_k' = H_{j,T}''; D_k' = D_{j,T}''; C_k' = C_{j,T}''; A_k' = A_{j,T}''; F_k' = F_{j,T}'' + F_{j,T}''\}$ .

Es decir, el conjunto de sub-tareas virtuales de la aplicación de la reducción de la dimensión de un atributo se obtiene al considerar todas aquellas sub-tareas con igual valor en todos los atributos reducibles como una sub-tarea, cuyo atributo frecuencia es la suma de las frecuencias de las sub-tareas.

Cabe notar que, siendo  $N_T' = \mathcal{C}(L') \times \mathcal{C}(V') \times \mathcal{C}(H') \times \mathcal{C}(D') \times \mathcal{C}(C') \times \mathcal{C}(A')$ ,  $N_T' = \mathcal{C}(ST_T') \leq \mathcal{C}(ST_T'') = \mathcal{C}(ST_T)$ , y por tanto, la dimensión de análisis ha quedado reducida.

Las sub-tareas  $ST_T'$  se denotan como “virtuales” porque no corresponden con sub-tareas identificables en la actividad laboral, dado que uno de sus atributos ha sido transformado respecto a su valor en  $ST_T$ .

Ahora, ya se puede aplicar el sistema de clasificación  $STC_T'$  sobre  $ST_T'$ , para determinar el valor de VLI de la tarea T.

## Aplicación de la reducción a todos los atributos

Es posible aplicar la reducción sobre la dimensionalidad de todos los atributos, mediante un procedimiento recursivo conmutativo, es decir, se puede aplicar la reducción sobre la dimensionalidad de un atributo al resultado de haberla aplicado a otro atributo, sin que el orden de reducción de los atributos altere el resultado final.

Sea  $ST'_T: \{ST'_{1,T}, \dots, ST'_{p,T}\}$  el conjunto de subtareas virtuales resultante de aplicar el criterio de reducción sobre la dimensionalidad de un atributo  $Y'_T \in AT'_T$ . Y sea  $X'_T \in AT'_T$  otro atributo que define las subtareas  $ST'_T$ . El resultado de aplicar el criterio de reducción sobre la dimensionalidad de  $X'_T$  es un sistema de clasificación de  $X'_T$ , que llamaremos  $X^{R'}_T \subseteq X'_T$ , y cada clase de esta clasificación tiene asignado un valor representativo  $X^{R'}_i$ .

Se define un nuevo sistema de clasificación de  $ST'_T$ , que llamaremos  $ST^{R'}_T \subseteq ST'_T$ :

$ST^{R'}_T: \{ST^{R'}_{1,T}, \dots, ST^{R'}_{q,T}\}$ , siendo  $ST^{R'}_{i,T}$  una clase formada por un subconjunto de subtareas  $ST'_{j,T} \in ST'_T$ , tal que  $X'_{j,T} \in X^{R'}_{i,T}$ .

Se define un nuevo conjunto de subtareas  $ST'''_T: \{ST'''_{1,T}, \dots, ST'''_{p,T}\}$ , siendo  $AT'''_T: \{L'''_T, V'''_T, H'''_T, D'''_T, C'''_T, A'''_T\}$  el subconjunto de atributos reducibles que definen cada subtarea de  $ST'''_T$ , como el resultado de una transformación  $\Psi$  sobre  $ST'_T$ :

$ST'''_T = \Psi(ST'_T)$ , definida como:  $\{\forall ST'_{j,T} \in ST'_T; \text{ si } Y'_T \neq X'_T; Y'''_{j,T} = Y'_{j,T}; \text{ si } Y'_T = X'_T; Y'''_{j,T} = X^{R'}_{i,T}\}$ , donde  $Y'_T \in AT'_T$  e  $Y_T \in AT_T$ .

Ahora, se puede definir el conjunto finito de subtareas virtuales resultante como:

$ST''_T: \{ST''_{1,T}, \dots, ST''_{r,T}\}$ , estando definida cada subtarea  $ST''_{i,T}$  por los valores de sus atributos,  $\{L''_i, L'_i, V''_i, H''_i, D''_i, C''_i, A''_i, F''_i\}$ , como  $ST''_T = \{ST'''_{i,T}; \nexists j \text{ tq. } \forall Y'''_T \in AT'''_T, Y'''_{i,T} = Y'''_{j,T}\} \cup \theta(ST'''_T)$ ;

Siendo  $\theta(ST'''_T)$ , la función definida como:

$$\theta(ST'''_T) = \{ST''_{k,T} = (L''_k, L'_k, V''_k, H''_k, D''_k, C''_k, A''_k, F''_k), \forall ST'''_{i,T}, ST'''_{j,T}, \text{ tq. } \forall Y'''_T \in AT'''_T, Y'''_{i,T} = Y'''_{j,T}; L''_k = L'_{j,T}; V''_k = V'_{j,T}; H''_k = H'_{j,T}; D''_k = D'_{j,T}; C''_k = C'_{j,T}; A''_k = A'_{j,T}; ; F''_k = F'_{j,T} + F'_{j,T}\}.$$

En resumen, al conjunto de subtareas virtuales  $ST'_T$  resultante de reducir un atributo, se ha obtenido otro conjunto de subtareas virtuales  $ST''_T$  al reducir otro atributo. Ahora, se puede aplicar el sistema de clasificación  $STC'_T$  sobre  $ST''_T$ , para determinar el valor de VLI de la tarea T.

Por simplificar la notación, en adelante, se utilizará  $ST'_T$  para indicar el conjunto de subtareas virtuales resultante de reducir uno o varios de los atributos que definen las subtareas de  $ST_T$ .

Recordemos, utilizando la notación original, la reducción que se obtiene en la dimensionalidad de cada uno de los atributos:  $1 \leq \mathcal{C}(L^{int}_T) \leq 5$ ;  $1 \leq \mathcal{C}(V^R_T) \leq 2$ ;  $1 \leq \mathcal{C}(H^R_T) \leq 3$ ;  $\mathcal{C}(D^R_T) = 1$ ;  $\mathcal{C}(C^R_T) = 1$ ;  $\mathcal{C}(A^R_T) = 1$ .

En consecuencia, si se aplica la reducción a todos los atributos, se puede afirmar que el número de subtareas virtuales que caracterizan la tarea T es:

$$N'_T = \mathcal{C}(L') \times \mathcal{C}(V') \times \mathcal{C}(H') \times \mathcal{C}(D') \times \mathcal{C}(C') \times \mathcal{C}(A') \leq 5 \times 2 \times 3 \times 1 \times 1 \times 1 = 30.$$

En la **tabla 6.1**, se sintetiza el universo de las subtareas virtuales a partir del valor de sus atributos. Evidentemente, las características de la tarea T determinarán el subconjunto de subtareas virtuales que la caracterizarán.

Retomamos el ejemplo planteado anteriormente, en el que la tarea de levantamiento se caracteriza por 8 valores de pesos, 8 de alturas de agarre (entre 0 y 150cm), 3 de distancias horizontales (25, 45 y 55cm), 8 de dislocaciones, 1 de calidad de agarre y 1 de asimetría, tenemos que el número de subtareas a analizar es  $N_T = 8 \times 8 \times 3 \times 8 \times 1 \times 1 = 1536$ .

Si se aplican los criterios de reducción de la dimensionalidad a todos los atributos reducibles, se obtiene un número de subtareas virtuales a analizar de  $N'_T = 5 \times 2 \times 3 \times 1 \times 1 \times 1 = 30$ .

Consideremos ahora una variación de este ejemplo, en el que las 8 de alturas de agarre van entre 0 y 120cm, y las 3 distancias horizontales son 25, 35 y 45cm, siendo el resto de atributos iguales al caso anterior; en este caso, continuamos teniendo un universo de análisis de 1536 subtareas; pero si se aplican los criterios de reducción de la dimensionalidad a todos los atributos reducibles, se obtiene un número de subtareas virtuales a analizar de  $N'_T = 5 \times 1 \times 2 \times 1 \times 1 \times 1 = 10$ .

<b>ST'<sub>i</sub></b>	<b>L'<sub>i</sub></b>	<b>V'<sub>i</sub></b>	<b>H'<sub>i</sub></b>	<b>D'<sub>i</sub></b>	<b>C'<sub>i</sub></b>	<b>A'<sub>i</sub></b>	<b>F'<sub>i</sub></b>
ST' <sub>1</sub>	L <sub>1</sub>	V <sub>G</sub>	H <sub>NE</sub>	D <sub>CTE</sub>	C <sub>CTE</sub>	A <sub>CTE</sub>	F <sub>1</sub>
ST' <sub>2</sub>	L <sub>1</sub>	V <sub>G</sub>	H <sub>MO</sub>	D <sub>CTE</sub>	C <sub>CTE</sub>	A <sub>CTE</sub>	F <sub>2</sub>
ST' <sub>3</sub>	L <sub>1</sub>	V <sub>G</sub>	H <sub>FA</sub>	D <sub>CTE</sub>	C <sub>CTE</sub>	A <sub>CTE</sub>	F <sub>3</sub>
ST' <sub>4</sub>	L <sub>1</sub>	V <sub>L/H</sub>	H <sub>NE</sub>	D <sub>CTE</sub>	C <sub>CTE</sub>	A <sub>CTE</sub>	F <sub>4</sub>
ST' <sub>5</sub>	L <sub>1</sub>	V <sub>L/H</sub>	H <sub>MO</sub>	D <sub>CTE</sub>	C <sub>CTE</sub>	A <sub>CTE</sub>	F <sub>5</sub>
ST' <sub>6</sub>	L <sub>1</sub>	V <sub>L/H</sub>	H <sub>FA</sub>	D <sub>CTE</sub>	C <sub>CTE</sub>	A <sub>CTE</sub>	F <sub>6</sub>
ST' <sub>7</sub>	L <sub>2</sub>	V <sub>G</sub>	H <sub>NE</sub>	D <sub>CTE</sub>	C <sub>CTE</sub>	A <sub>CTE</sub>	F <sub>7</sub>
ST' <sub>8</sub>	L <sub>2</sub>	V <sub>G</sub>	H <sub>MO</sub>	D <sub>CTE</sub>	C <sub>CTE</sub>	A <sub>CTE</sub>	F <sub>8</sub>
ST' <sub>9</sub>	L <sub>2</sub>	V <sub>G</sub>	H <sub>FA</sub>	D <sub>CTE</sub>	C <sub>CTE</sub>	A <sub>CTE</sub>	F <sub>9</sub>
ST' <sub>10</sub>	L <sub>2</sub>	V <sub>L/H</sub>	H <sub>NE</sub>	D <sub>CTE</sub>	C <sub>CTE</sub>	A <sub>CTE</sub>	F <sub>10</sub>
ST' <sub>11</sub>	L <sub>2</sub>	V <sub>L/H</sub>	H <sub>MO</sub>	D <sub>CTE</sub>	C <sub>CTE</sub>	A <sub>CTE</sub>	F <sub>11</sub>
ST' <sub>12</sub>	L <sub>2</sub>	V <sub>L/H</sub>	H <sub>FA</sub>	D <sub>CTE</sub>	C <sub>CTE</sub>	A <sub>CTE</sub>	F <sub>12</sub>
ST' <sub>13</sub>	L <sub>3</sub>	V <sub>G</sub>	H <sub>NE</sub>	D <sub>CTE</sub>	C <sub>CTE</sub>	A <sub>CTE</sub>	F <sub>13</sub>
ST' <sub>14</sub>	L <sub>3</sub>	V <sub>G</sub>	H <sub>MO</sub>	D <sub>CTE</sub>	C <sub>CTE</sub>	A <sub>CTE</sub>	F <sub>14</sub>
ST' <sub>15</sub>	L <sub>3</sub>	V <sub>G</sub>	H <sub>FA</sub>	D <sub>CTE</sub>	C <sub>CTE</sub>	A <sub>CTE</sub>	F <sub>15</sub>
ST' <sub>16</sub>	L <sub>3</sub>	V <sub>L/H</sub>	H <sub>NE</sub>	D <sub>CTE</sub>	C <sub>CTE</sub>	A <sub>CTE</sub>	F <sub>16</sub>
ST' <sub>17</sub>	L <sub>3</sub>	V <sub>L/H</sub>	H <sub>MO</sub>	D <sub>CTE</sub>	C <sub>CTE</sub>	A <sub>CTE</sub>	F <sub>17</sub>
ST' <sub>18</sub>	L <sub>3</sub>	V <sub>L/H</sub>	H <sub>FA</sub>	D <sub>CTE</sub>	C <sub>CTE</sub>	A <sub>CTE</sub>	F <sub>18</sub>
ST' <sub>19</sub>	L <sub>4</sub>	V <sub>G</sub>	H <sub>NE</sub>	D <sub>CTE</sub>	C <sub>CTE</sub>	A <sub>CTE</sub>	F <sub>19</sub>
ST' <sub>20</sub>	L <sub>4</sub>	V <sub>G</sub>	H <sub>MO</sub>	D <sub>CTE</sub>	C <sub>CTE</sub>	A <sub>CTE</sub>	F <sub>20</sub>
ST' <sub>21</sub>	L <sub>4</sub>	V <sub>G</sub>	H <sub>FA</sub>	D <sub>CTE</sub>	C <sub>CTE</sub>	A <sub>CTE</sub>	F <sub>21</sub>
ST' <sub>22</sub>	L <sub>4</sub>	V <sub>L/H</sub>	H <sub>NE</sub>	D <sub>CTE</sub>	C <sub>CTE</sub>	A <sub>CTE</sub>	F <sub>22</sub>
ST' <sub>23</sub>	L <sub>4</sub>	V <sub>L/H</sub>	H <sub>MO</sub>	D <sub>CTE</sub>	C <sub>CTE</sub>	A <sub>CTE</sub>	F <sub>23</sub>
ST' <sub>24</sub>	L <sub>4</sub>	V <sub>L/H</sub>	H <sub>FA</sub>	D <sub>CTE</sub>	C <sub>CTE</sub>	A <sub>CTE</sub>	F <sub>24</sub>
ST' <sub>25</sub>	L <sub>5</sub>	V <sub>G</sub>	H <sub>NE</sub>	D <sub>CTE</sub>	C <sub>CTE</sub>	A <sub>CTE</sub>	F <sub>25</sub>
ST' <sub>26</sub>	L <sub>5</sub>	V <sub>G</sub>	H <sub>MO</sub>	D <sub>CTE</sub>	C <sub>CTE</sub>	A <sub>CTE</sub>	F <sub>26</sub>
ST' <sub>27</sub>	L <sub>5</sub>	V <sub>G</sub>	H <sub>FA</sub>	D <sub>CTE</sub>	C <sub>CTE</sub>	A <sub>CTE</sub>	F <sub>27</sub>
ST' <sub>28</sub>	L <sub>5</sub>	V <sub>L/H</sub>	H <sub>NE</sub>	D <sub>CTE</sub>	C <sub>CTE</sub>	A <sub>CTE</sub>	F <sub>28</sub>
ST' <sub>29</sub>	L <sub>5</sub>	V <sub>L/H</sub>	H <sub>MO</sub>	D <sub>CTE</sub>	C <sub>CTE</sub>	A <sub>CTE</sub>	F <sub>29</sub>
ST' <sub>30</sub>	L <sub>5</sub>	V <sub>L/H</sub>	H <sub>FA</sub>	D <sub>CTE</sub>	C <sub>CTE</sub>	A <sub>CTE</sub>	F <sub>30</sub>

**Tabla 6.1.** Universo de las subtareas virtuales a partir del valor de sus atributos reducidos.

En este último caso, el efecto reductor es mayor debido a que los valores del atributo V y de H tienen mayor similitud entre las diferentes subtareas.

# Determinación de las subtareas virtuales ST'

## Procedimiento establecido

El procedimiento establecido en la literatura para determinar las subtareas para el cálculo del índice consiste en identificar todas las subtareas a partir de la observación y medición precisas de sus atributos.

Este procedimiento aplicado a la obtención de las subtareas virtuales se compone de la identificación de todas las subtareas reales y, posteriormente, reducir sus atributos para determinar las subtareas virtuales.

La aplicación de este procedimiento se puede esquematizar en los siguientes pasos:

1. Identificar todos los levantamientos que se realizan;
2. Para cada levantamiento, identificar y medir:
  - a. La posición de origen del levantamiento y la posición de destino del objeto levantado;
  - b. El peso del objeto levantado y la calidad del agarre que permite;
  - c. Los atributos que describen la postura en el origen y en el destino, es decir, la altura de agarre, la distancia horizontal y la asimetría realizada;
3. Identificar los levantamientos que son iguales en todos sus atributos, y por tanto, configurarán las subtareas;
4. Determinar la frecuencia de ejecución de cada subtarea.
5. Aplicar posteriormente las reducciones sobre todos los atributos  $AT_T$  para obtener las subtareas virtuales.

En las actividades de levantamiento de cargas de alta variabilidad, la aplicación



de este procedimiento supone un gran esfuerzo para la recogida de la información. En estos casos, se debería hacer un seguimiento de cada trabajador durante toda la jornada laboral para identificar y medir todos los parámetros necesarios, siendo este requerimiento prácticamente inviable.

Una aproximación a este procedimiento consiste en realizar un muestreo de observación e identificar todas las subtareas que se realizan durante ese periodo. Posteriormente, seguir con la reducción de sus atributos para determinar las subtareas virtuales, asumiendo que el conjunto de subtareas identificadas representan el universo de subtareas de la tarea.

Esta estrategia de muestro se puede aplicar para determinar tanto los diferentes tipos de levantamientos que se realizan como el ritmo de trabajo. Determinar el ritmo de trabajo a partir del muestreo realizado supone considerar las frecuencias observadas de cada tipo de levantamiento como la frecuencia de levantamientos  $F_i$  de cada subtarea  $ST_i$ .

Opcionalmente, y con ánimo de incrementar la precisión, es posible utilizar la estrategia de muestreo únicamente para identificar los tipos de levantamientos y, posteriormente, determinar las frecuencias  $F_i$  de las subtareas a partir del análisis de la organización del trabajo en la tarea  $T$ , mediante la siguiente ecuación:

$$F_{i,T} = TL_{i,T} / WD_T$$

siendo,

$WD_T$  un número entero positivo que representa el número de minutos que se realiza la tarea  $T$  en el turno de trabajo;

$TL_{i,T}$  un número entero positivo que representa el número de levantamientos de cargas que se realiza durante  $WD_T$  descritos por la subtarea  $ST_i$ ;

Determinar la frecuencia de levantamientos de cada subtarea identificada a partir del análisis de la organización de trabajo proporciona una mayor precisión que suponer que el ritmo de trabajo y la frecuencia de levantamientos de cada subtarea observadas en el periodo de muestreo se mantienen constantes durante  $WD_T$ . Pero comporta una dificultad: determinar  $TL_{i,T}$ .

Aparentemente, determinar los valores de  $TL_{i,T}$  en tareas de levantamiento de alta

variabilidad puede ser enormemente difícil. Aun así, para determinados tipos de tareas, puede ser, desde un punto de vista práctico, factible de determinar. Las tareas de levantamiento que permiten esta aproximación son las que cada objeto manipulado determina una subtarea de levantamiento, o bien, un subconjunto reducido de subtareas; es decir, cada objeto se levanta y deposita siempre en idénticas posiciones, o bien, en un número reducido de diferentes posiciones. En estos casos, la variabilidad de la tarea está determinada principalmente por el alto número de objetos diferentes levantados.

El valor de  $TL_{i,T}$  se puede determinar como:

$$TL_{i,T} = NO_i \times TL_{Oi}$$

Donde  $NO_i$  corresponde con el número de unidades de un objeto determinado que se manipula durante un día; y  $TL_{Oi}$  el número de levantamientos que se realiza a cada objeto en cada operación.

El valor de  $NO_i$  se puede obtener de los registros de la empresa, dependiendo de la ubicación de la tarea T dentro del proceso productivo:

- Si la tarea de manipulación manual se realiza en las entradas de materiales al sistema productivo, el valor de  $NO_i$  se extraerá de los registros de compras;
- Si la tarea de manipulación manual se realiza en las salidas de materiales al sistema productivo sobre el producto finalizado, ya sea en final de proceso, como en almacenes, en la red de distribución o en la red de ventas final, el valor de  $NO_i$  se extraerá de los registros de ventas;
- Si la tarea de manipulación manual se realiza sobre materiales que se provisionan o se desplazan en operaciones intermedias del sistema productivo, el valor de  $NO_i$  se extraerá de los registros de producción.

El valor de  $TL_{Oi}$  se puede obtener directamente de los periodos de observación que determinan el muestreo. La situación más habitual es la que requiere levantar únicamente una vez cada objeto, es decir,  $TL_{Oi} = 1$ , pero puede haber casos en los que  $TL_{Oi} > 1$ ; por ejemplo, cuando se levanta un objeto de un carro, se deposita en el suelo para realizar alguna operación, como abrirlo, poner o quitar una etiqueta, etc., y se vuelve a levantar para posicionarlo en su ubicación final; en

este ejemplo,  $TL_{O_i} = 2$ .

Para finalizar, del análisis del procedimiento establecido se puede concluir que:

- Este procedimiento requiere un esfuerzo inviable desde el punto de vista práctico en la mayoría de los casos.
- Con los procedimientos propuestos, la aplicación de este procedimiento puede comportar un esfuerzo más asumible desde un punto de vista práctico del analista.
- En los casos donde la tarea de levantamiento tenga un comportamiento bastante cíclico, el procedimiento de muestreo propuesto puede proporcionar información bastante aproximada, pero siempre comportará una subvaloración o una sobrevaloración del riesgo.
- Si, además, la variabilidad de la tarea viene determinada principalmente por la diversidad de objetos manipulados, la frecuencia de las subtareas se puede determinar de forma más precisa a partir del análisis organizativo.

## Procedimiento de observación reducida

Como se ha expuesto en la sección precedente, el procedimiento actualmente establecido implica la identificación de todas subtareas de manera precisa para posteriormente aplicar las reducciones sobre sus atributos, y así determinar las subtareas virtuales. Este procedimiento comporta diversas barreras prácticas que en la mayoría de los casos hacen inviable su aplicación.

Como alternativa, se propone un nuevo procedimiento para determinar las subtareas virtuales. Este procedimiento, radicalmente diferente, se basa en una observación y medición simplificada de los atributos parcialmente ya reducidos, agilizando la identificación de las subtareas virtuales; posteriormente, y tras aplicar las reducciones restantes, mediante un enfoque probabilístico, se pueden determinar las frecuencias de levantamientos asociadas a cada subtaska virtual, completando el proceso de determinación de las subtareas virtuales.

Este procedimiento se esquematiza en los siguientes pasos secuenciales:

## Paso 1. Determinación del atributo $L_T$ y su reducción

El primer paso del análisis consiste en identificar todos los tipos de objetos manipulados manualmente, así como su peso. Esta información se puede extraer de un análisis del sistema productivo, como expuesto en la sección precedente, a partir de los registros de compras, ventas o producción de la organización.

Se identifican los objetos por tener asociado un peso diferente, es decir, objetos de igual peso se consideran del mismo tipo. Esta diferenciación conviene realizarla sobre el dominio del atributo peso resultante de aplicarle la reducción externa  $L_T^{ext} : \{L_{1,T}^{ext}, \dots, L_{M,T}^{ext}\}$ . En la práctica, una técnica sencilla que facilita la recolección de estos datos con la reducción externa es aplicar un redondeo a números enteros; de esta forma, los datos obtenidos ya tendrán aplicada la reducción externa en su atributo peso.

En segundo lugar, se determina para cada tipo de objeto, el valor de  $NO_i$ , correspondiente con el número de unidades de un tipo de objeto determinado que se manipula durante un día; y el valor de  $TL_{O_i}$ , siendo el número de levantamientos que se realiza a cada objeto en cada operación. Para obtener estos datos, se pueden seguir las pautas descritas en la sección precedente, y así obtener el valor de  $F_{i,T}$  para cada tipo de objeto.

A continuación, se aplica la reducción interna al atributo peso, tomando  $P = 5$ . Como resultado, se obtiene la siguiente clasificación de los pesos:

$L_T^{int} : \{L_{1,T}^{int}, L_{2,T}^{int}, L_{3,T}^{int}, L_{4,T}^{int}, L_{5,T}^{int}\}$ , donde cada clase tiene asociado

un peso representativo determinado por:  $L_i^{int} = \frac{\sum_j F_{j,T} \times L_{j,T}^{ext}}{\sum_j F_{j,T}}$ ,

y una frecuencia acumulada:  $F_{L,i}^{int} = \sum_j F_{j,T}$ ,  $\forall j$ , tal que  $L_{j,T} \in L_{i,T}^{int}$ .

## Paso 2. Determinación del atributo altura de agarre $V_T$

El segundo paso del análisis propuesto consiste en identificar los diferentes valores del atributo altura de agarre  $V_T$ , para cada clase  $L_{i,T}^{int}$ . La medición de este atributo se propone realizarla sobre un espacio previamente reducido, al que se llamará la reducción externa del atributo  $V_T$ .

La reducción externa se define como:

$V_T^{ext} : \{V_{1,T}^{ext}, \dots, V_{M,T}^{ext}\}$ , un sistema de clasificación de  $V_T$ ;  $V_T^{ext} \subseteq V_T$ ; cuya relación de pertenencia a  $V_{i,T}^{ext}$  es de similitud de los valores del atributo  $V_T$ ; en concreto, la relación de pertenencia propuesta es la siguiente:

Sea el conjunto  $V_{i,T}^{ext} : \{V_{i,T} \in [V_{i,T}^{extmin}, V_{i,T}^{extmax}] \}$ , siendo  $V_{i,T}^{extmin} \in \mathbf{N}^*$ ;  $V_{i,T}^{extmax} \in \mathbf{N}^*$  y  $V_{i,T}^{extmax} - V_{i,T}^{extmin} = 10$ .

De esta forma, la medición del atributo  $V_i$  se realizará con una precisión de 10 cm.

Una vez obtenidos los datos sobre el espacio de la reducción externa para cada clase  $L_{i,T}^{int}$ , se propone aplicar la reducción interna de nivel 1 del atributo altura de agarre  $V_T$ . Como resultado, se obtendrá una nueva clasificación para cada clase  $L_{i,T}^{int}$ ,  $V_{Li,T}^{R1} : \{V_{G,Li,T}^{R1}, V_{L,Li,T}^{R1}, V_{H,Li,T}^{R1}\}$ .

Posteriormente, es posible aplicar la reducción interna de nivel 2 descrita anteriormente. Como resultado, se obtendrá una nueva clasificación para cada clase  $L_{i,T}^{int}$ ,  $V_{Li,T}^R : \{V_{G,Li,T}^R, V_{L/H,Li,T}^R\}$ .

### Paso 3. Determinación del atributo distancia horizontal $H_T$

Para cada clase de  $V_{Li,T}^{R1}$  no vacías, de cada clase  $L_{i,T}^{int}$ , se identificarán los diferentes valores del atributo de distancia horizontal  $H_T$ .

La medición de este atributo se propone realizarla sobre el espacio resultante de aplicar la reducción propuesta anteriormente, es decir,  $H_T^R : \{H_{NE,T}^R, H_{MO,T}^R, H_{FA,T}^R\}$ .

Sea  $V_T^{R1} = \{V_{Li,T}^{R1} ; \forall L_{i,T}^{int}\}$  el conjunto de clases no vacías de todas las clases  $L_{i,T}^{int}$ , entonces, se puede definir:

$H_{V,T}^R : \{H_{NE,V,T}^R, H_{MO,V,T}^R, H_{FA,V,T}^R\}$ , un sistema de clasificación de  $V_T^{R1}$ ; cuya relación de pertenencia a  $H_{NE,V,T}^R, H_{MO,V,T}^R$  y  $H_{FA,V,T}^R$  queda definida por:

$$H_{NE,V,T}^R : \{\theta \in V_T^{R1}; \exists j \text{ ST}_j \in \theta \text{ t.q. } H_{j,T} \in H_{NE,T}^R\};$$

$$H_{MO,V,T}^R : \{\theta \in V_T^{R1}; \exists j \text{ ST}_j \in \theta \text{ t.q. } H_{j,T} \in H_{MO,T}^R\};$$

$$H_{FA,V,T}^R : \{\theta \in V_T^{R1}; \exists j \text{ ST}_j \in \theta \text{ t.q. } H_{j,T} \in H_{FA,T}^R\};$$

Como se puede deducir, este sistema de clasificación no es disyuntivo; por este motivo, el resultado se puede interpretar más intuitivamente como:  $\forall \theta \in V_T^{R1}$ , se le asocia una pertenencia a un subconjunto de clases de  $H_T^R$ .

De esta forma, la identificación del parámetro  $H_i$  de las subtareas de levantamiento se realiza directamente sobre el espacio de  $H_T^R$ , evitando así la barrera desde el punto de vista práctico de medir este parámetro con mayor precisión.

Para la aplicación del paso 2 y 3 se puede utilizar la plantilla de registro de datos de la **figura 6.7**, únicamente señalando X en las casillas cuyos valores se han identificado.

Vext	Lint- Categorías de peso (Kg)										Hr - Distancia horizontal al cuerpo (cm)
	Desde	Hasta	Desde	Hasta	Desde	Hasta	Desde	Hasta	Desde	Hasta	
cm											
>175											
171-175											
161-170											
151-160											
141-150											
131-140											
126-130											
111-125											
101-110											
91-100											
81-90											
71-80											
61-70											
51-60											
41-50											
31-40											
21-30											
11-20											
0-10											

**Figura 6.7.** Plantilla para el registro de los atributos Vext y Hr de la observación reducida.

#### Paso 4. Determinación del atributo asimetría $A_T$

Para cada clase  $L_{i,T}^{int}$ , se identificarán los diferentes valores del atributo asimetría  $A_T$ .

La medición de este atributo se propone realizarla sobre el espacio resultante de aplicar la doble reducción propuesta anteriormente  $A_T^{R'}$ .

La primera reducción propuesta sobre  $A_T$  es un sistema de clasificación  $A_T^R : \{A_{0,T}^R, A_{1,T}^R\}$ , donde cada clase tiene como valor representativo  $A_0^R = 0$  y  $A_1^R = 60$ , respectivamente.

La segunda reducción que se ha propuesto sobre la dimensión de este atributo  $A_T^{R'} : \{A_{CTE,T}^{R'}\}$ , asigna un valor representativo a la clase ( $A_{CTE}^{R'}$ ), cuyo valor es  $A_0^R$  o  $A_1^R$  dependiendo de si la proporción de subtareas clasificadas en  $A_{0,T}^R$  es mayor que las clasificadas en  $A_{1,T}^R$ , o a la inversa, respectivamente.

Para aplicar la clasificación  $A_T^{R'}$  sobre  $L_{i,T}^{int}$ , se propone realizar un muestreo de observación de la actividad, valorando la asimetría realizada en las subtareas de  $L_{i,T}^{int}$  con la precisión determinada por el resultado de la primera reducción y aplicar la segunda reducción sobre los datos recogidos.

Sea  $A_{M,T} : \{A_{1,M,T}, ..., A_{n,M,T}\}$  el conjunto de valores del atributo asimetría de las subtareas observadas, donde  $n = \#(A_{M,T})$ . La aplicación de la reducción consiste únicamente en identificar para cada subtarea observada si  $A_{i,M,T} \in A_{0,T}^R$ , o bien, si  $A_{i,M,T} \in A_{1,T}^R$ .

Entonces, el valor del atributo asimetría para las subtareas virtuales de  $L_{i,T}^{int}$  queda determinado por:

$$A_{CTE}^{R'} = A_0^R; \text{ syss } \#(A_{0,T}^R)/n < 0,5;$$

$$A_{CTE}^{R'} = A_1^R; \text{ syss } \#(A_{1,T}^R)/n \geq 0,5;$$

Para la aplicación de este paso 4, se puede utilizar la plantilla de registro de datos de la **figura 6.8**, señalando con una X la clase  $L_{i,T}^{int}$  que  $A_{CTE}^{R'} = A_1^R$ .

Ar'	Lint - Categorías de peso (Kg)											
	desde		hasta		desde		hasta		desde		hasta	
Más del 50% > 45°												
Más de 135°												

**Figura 6.8.** Plantilla para el registro del atributo Ar' de la observación reducida.

### Paso 5. Identificación de las subtareas virtuales presentes

Recordemos que el dominio de las subtareas virtuales está acotado y su dimensión  $N'_T$  se determina por:

$$N'_T = \mathcal{C}(L') \times \mathcal{C}(V') \times \mathcal{C}(H') \times \mathcal{C}(D') \times \mathcal{C}(C') \times \mathcal{C}(A')$$

Siguiendo la nomenclatura utilizada en este apartado, la dimensión del dominio de las subtareas virtuales queda determinado por:

$$N'_T = \mathcal{C}(L_T^{int}) \times \mathcal{C}(V_T^R) \times \mathcal{C}(H_T^R) \times \mathcal{C}(D') \times \mathcal{C}(C') \times \mathcal{C}(A_T^{R'})$$

Donde:

$$\mathcal{C}(D') = \mathcal{C}(C') = \mathcal{C}(A_T^{R'}) = 1;$$

$$\mathcal{C}(L_T^{int}) \leq 5;$$

$$\mathcal{C}(V_T^R) \leq 2;$$

$$\mathcal{C}(H_T^R) \leq 3;$$

Por tanto, se puede afirmar que  $N'_T \leq 30$ .

Dado que en los pasos previos han quedado determinados los valores de los atributos V', H' y A', y que el resultado de la reducción del atributo D' es un único valor representativo  $D_{CTE}^R = 0$ , y el resultado de la reducción del atributo C' es  $C_{CTE}^R = "mala"$ , ya han quedado definidos los valores de todos los atributos reduci-



bles  $AT'_T$  de las subtareas virtuales identificadas.

Por lo tanto, para cada clase de  $L_T^{int}$ , quedan identificadas unas subtareas virtuales, siendo un subconjunto de las descritas en la **tabla 6.2**.

$L_{j,T}^{int}$	$V'$	$H'$	$A'$	$D'$	$C'$
$ST'_i$	$V_G$	$H_{NE}$	$A_{CTE}$	0	"mala"
$ST'_{i+1}$	$V_G$	$H_{MO}$	$A_{CTE}$	0	"mala"
$ST'_{i+2}$	$V_G$	$H_{FA}$	$A_{CTE}$	0	"mala"
$ST'_{i+3}$	$V_{L/H}$	$H_{NE}$	$A_{CTE}$	0	"mala"
$ST'_{i+4}$	$V_{L/H}$	$H_{MO}$	$A_{CTE}$	0	"mala"
$ST'_{i+5}$	$V_{L/H}$	$H_{FA}$	$A_{CTE}$	0	"mala"

**Tabla 6.2.** Conjunto de subtareas virtuales asociadas a la clase  $L_{j,T}^{int}$

Teniendo determinados estos valores para las 6 subtareas virtuales de cada clase de  $L_T^{int}$ , es posible precalcular el valor de FIRWL para cada subtarea virtual en los posibles escenarios según el valor de  $m_{ref}$  y de  $A_{CTE}$ .

Los posibles escenarios de  $m_{ref}$  y de  $A_{CTE}$  son los siguientes:

$m_{ref} : \{15; 20; 25\};$

$A_{CTE} : \{0; 60\}.$

Aplicando la ecuación  $FIRWL_i = m_{ref} \times VM_{R,i} \times HM_{R,i} \times DM_{R,i} \times AM_{R,i} \times CM_{R,i}$ , se obtienen los valores precalculados de FIRWL indicados en la **tabla 6.3**.

$m_{ref}$	15kg		20kg		25kg	
$A_{CTE}$	$A_0$	$A_1$	$A_0$	$A_1$	$A_0$	$A_1$
$ST'_i$	9,59	7,76	12,78	10,35	15,98	12,94
$ST'_{i+1}$	7,56	6,12	10,08	8,16	12,6	10,21
$ST'_{i+2}$	5,4	4,37	7,2	5,83	9,00	7,29
$ST'_{i+3}$	7,48	6,06	9,97	8,07	12,46	10,09
$ST'_{i+4}$	5,9	4,78	7,86	6,37	9,83	7,96
$ST'_{i+5}$	4,21	3,41	5,62	4,55	7,02	5,69
<b>min</b>	4,21	<b>3,41</b>	5,62	4,55	7,02	5,69
<b>max</b>	9,59	7,76	12,78	10,35	<b>15,98</b>	12,94

**Tabla 6.3.** Valores precalculados de FIRWL de las subtareas virtuales para los diferentes escenarios de valores de  $m_{ref}$  y  $A_{CTE}$ .

## Paso 6. Determinación de las frecuencias de las subtareas virtuales

En el paso 1 se ha determinado la frecuencia acumulada  $F_{L,i}^{int}$  asociada a cada clase  $L_T^{int}$ . Ahora es necesario repartir esta frecuencia entre las 6 subtareas virtuales asociadas a  $L_T^{int}$ .

Para ello se propone un enfoque probabilístico dependiendo del número de ubicaciones de los objetos levantados identificadas a partir de sus valores de V y H.

Dada una subtarea virtual  $ST_j' \in L_{i,T}^{int}$ , cuyos valores representativos de los atributos V' y H' son  $V_j'$  y  $H_j'$  respectivamente, se obtendrá su frecuencia asociada a partir de la siguiente ecuación:

$$F_j' = \beta_j \times F_{L,i}^{int}$$

Siendo  $\beta_j$  la ponderación de la frecuencia de la subtarea virtual respecto al resto de subtareas virtuales pertenecientes a la misma clase  $L_{i,T}^{int}$ , representando su probabilidad de repetirse.

Sea  $V_{\rho,Li,T}^{R1} \in V_{Li,T}^{R1}$  una clase resultante de la reducción interna de nivel 1 del atributo  $V_T$ , la dimensión de  $V_{\rho,Li,T}^{R1}$ ,  $\mathcal{C}(V_{\rho,Li,T}^{R1})$ , es el número de valores de  $V_T^{ext}$ , tal que  $V_T^{ext} \in V_{\rho,Li,T}^{R1}$ .

De igual forma, aplicado a cualquier clase resultante de la reducción interna de nivel 2 del atributo  $V_T$ , tenemos que la dimensión de la clase  $\mathcal{C}(V_{\gamma,Li,T}^R)$ ,  $V_{\gamma,Li,T}^R \in V_{Li,T}^R$ , es el número de valores de  $V_T^{ext}$ , tal que  $V_T^{ext} \in V_{\gamma,Li,T}^R$ .

Sea  $H_{\beta,V,T}^R \in H_{V,T}^R$  cualquier clase resultante de la reducción del atributo H, podemos definir  $H_{\rho,Li,T}^R$  como el conjunto definido por  $\{H_{\beta,V,T}^R \in H_{V,T}^R \text{ tq. } V_{\rho,Li,T}^{R1} \in H_{\beta,V,T}^R\}$ , cuya dimensión  $\mathcal{C}(H_{\rho,Li,T}^R)$  representa el número de clases de  $H_{V,T}^R$  en los que está clasificada  $V_{\rho,Li,T}^{R1}$ .

Sea  $V_j' \in V_{\rho,Li,T}^R$ , el valor representativo del atributo  $V_T$  de la subtarea  $ST_j'$ .

A continuación se plantean dos alternativas para determinar el valor  $\beta_j$  mediante un enfoque probabilístico según la interpretación de las ubicaciones de los objetos levantados.

### Alternativa 1.

La primera interpretación del concepto ubicación es asumir que las ubicaciones de

un tipo de objetos viene determinada principalmente por la altura de la estantería o apilación, es decir, por el atributo  $V_T$ . En estos casos, los mismos tipos de objetos a levantar están ubicados en un rango de alturas muy acotado; el atributo  $H_T$  representa la exigencia postural relacionada con levantar el objeto más cercano ubicado a esa altura o el más lejano.

Sea  $N_V = \sum \mathfrak{e}(V_{\gamma, Li, T}^{R1}), \forall V_{\gamma, Li, T}^{R1} \in V_{Li, T}^{R1};$

La ponderación  $\beta_j$  se obtiene mediante la ecuación:

$$\beta_j = \frac{\mathfrak{e}(V_{\rho, Li, T}^R)}{\mathfrak{e}(H_{\rho, Li, T}^R) \times N_V}$$

## Alternativa 2.

La segunda interpretación del concepto ubicación (alternativa 2) es asumir que la ubicación de un tipo de objetos viene determinada tanto por la altura como por la distancia horizontal. En estos casos, los objetos del mismo tipo no están ordenados en lugares muy acotados, y por tanto, objetos del mismo tipo pueden estar en alturas y distancias horizontales muy diferentes.

Sea  $N_{V+H} = \sum \mathfrak{e}(V_{\gamma, Li, T}^{R1}) \times \mathfrak{e}(H_{\gamma, Li, T}^R), \forall V_{\gamma, Li, T}^{R1} \in V_{Li, T}^{R1};$

La ponderación  $\beta_j$  se obtiene mediante la ecuación:

$$\beta_j = \frac{\sum \mathfrak{e}(V_{\gamma, Li, T}^{R1}) \times \mathfrak{e}(H_{\gamma, Li, T}^R); \forall V_{\gamma, Li, T}^{R1} \in V_{\rho, Li, T}^R}{N_{V+H}}$$

## Paso 7. Cálculo del VLI

Tras el paso 6, se ha obtenido un subconjunto de subtareas virtuales con todos los atributos definidos (**tabla 6.1**), y por tanto, es posible calcular los valores FILI y LI de cada subtaska virtual.

Tras calcular esos parámetros, finalmente, se aplica el sistema de clasificación  $STC'_T$  sobre  $ST'_T$ , para determinar el valor de VLI de la tarea T.



Parte III

APLICACIÓN Y DESARROLLO DE  
CRITERIOS



# Aplicación del modelo

---

## Descripción del caso

### Contexto productivo del caso

El caso real seleccionado, se efectúa dentro de una empresa industrial de alimentos de España, concretamente en una de las delegaciones comerciales ubicadas en la provincia de Barcelona, en el Polígono Industrial el Pla, de Sant Feliu de Llobregat.

La delegación comercial, es un centro logístico que tiene como función principal recepcionar el producto que viene de fábrica y redistribuirlo en camiones para la entrega a los diferentes clientes bajo los pedidos diarios.

La categorización del trabajo está definida por la tipología de cliente, en la que se divide en dos tipos, los grandes clientes: hipermercados y grandes centros comerciales, como Carrefour, El Corte Inglés, Alcampo, Mercadona, Makro, etc, y los clientes pequeños como los supermercados de barrio, las tiendas pequeñas de multiproductos alimenticios como Caprabo, Sorli-Discau, Condis y pequeños comercios que no pertenecen a cadenas de supermercados.

Esta categorización por clientes facilita la distribución de tareas y la organización del trabajo en la asignación de trabajadores dependiendo del volumen de pedidos de cada tipología de cliente.

La delegación comercial funciona desde las 5:00h hasta las 23:00h, de lunes a sábado; los domingos no se realiza distribución ni reparto.

## Contexto organizativo del caso

En el centro logístico de Sant Feliu de Llobregat, actualmente trabajan 46 personas, de las cuales 25 son los responsables de hacer entrega de los pedidos a los comercios pequeños y conducen los camiones llamados Preventa/Autoventa; 6 son quienes realizan la distribución de los pedidos en los camiones y jaulas dentro de la delegación comercial, llamados Acomodador y Acomodador auxiliar; 10 se encargan de recolocar el producto en grandes superficies o hipermercados, además de velar por que el producto esté siempre bien ubicado y la estantería llena, llamados Merchandasing/Reponedor; hay un supervisor que da soporte en algunas tareas de acomodador en la delegación y 4 cargos entre administrativos y dirección.

Cada perfil tiene un horario de turno definido dependiendo de sus funciones, además cada perfil tiene una asignación específica de tareas dentro de la delegación y otras fuera de ella.

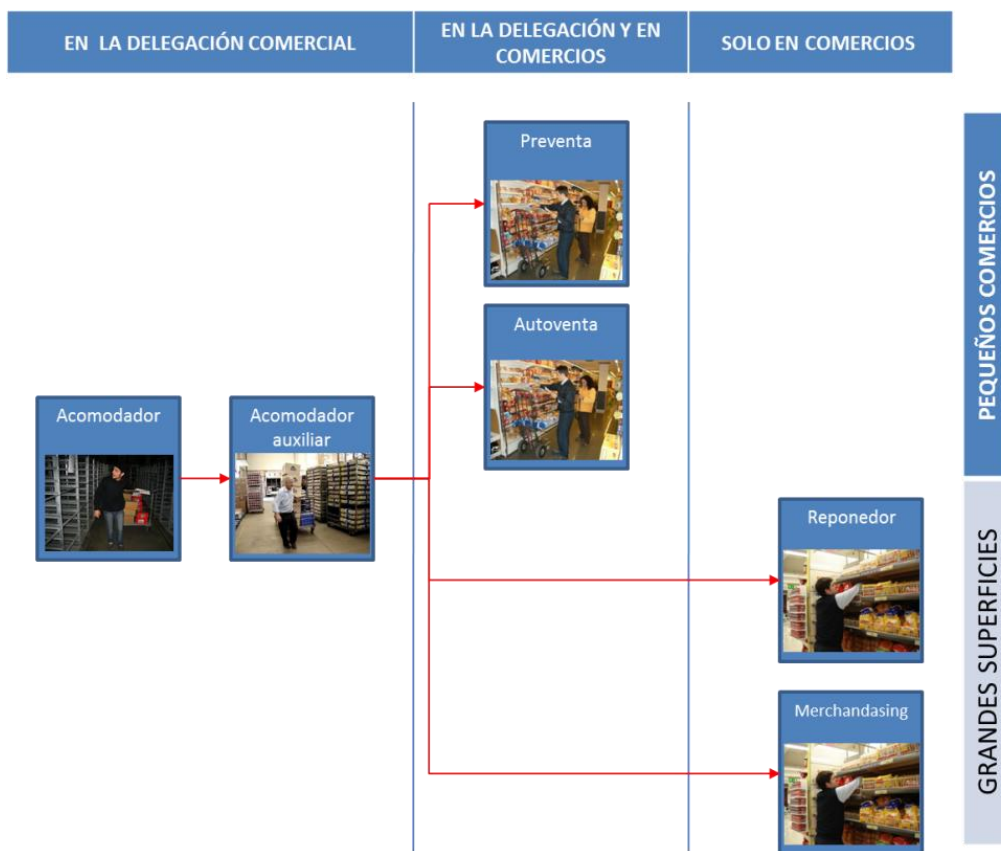
El puesto de trabajo de Acomodador, es el que está más expuesto a la carga física por levantamiento de cargas, debido a que es el que realiza la tarea de distribuir los productos que vienen de fábrica en los camiones y en las jaulas para su reparto. Es el puesto de trabajo que da inicio a la cadena de distribución hacia los puntos de venta y los clientes, su trabajo en conjunto con el del acomodador auxiliar, permiten que el Preventa/Autoventa y el Merchandasing/Reponedor puedan efectuar sus tareas (**figura 7.1**).

Los puestos de trabajo y las características de permanencia en la delegación se muestran en la **tabla 7.1**.

Puesto de trabajo	Número de trabajadores	Turno de trabajo	Tiempo de trabajo en delegación	Tiempo de trabajo en comercios
Acomodador	4	7 horas	100%	0%
Acomodador Auxiliar	2	4 horas	100%	0%
Preventa/ Autoventa	25	8 horas	10%	90%
Reponedor/ Merchandasing	10	8 horas	0%	100%

**Tabla 7.1.** Puestos de trabajo de la delegación comercial.





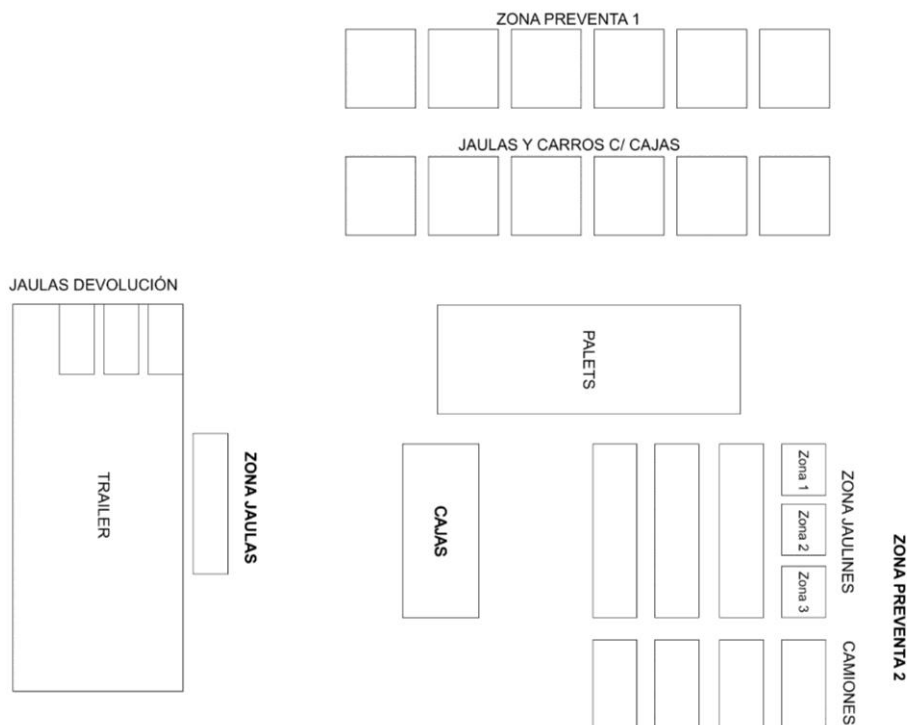
**Figura 7.1.** Distribución de los puestos de trabajo de la delegación comercial, y ubicación del puesto de Acomodador dentro de la cadena de suministro.

La clasificación de tareas va en función del cliente, según sean grandes clientes o pequeños comercios; el centro logístico está dividido en varias zonas (**figura 7.2**):

- En la Zona Preventa 1: es la zona donde están ubicados los camiones que van a los comercios pequeños conducidos por el Preventa/Autoventa, delante de los camiones hay jaulas con producto proveniente de fábrica y palets con cajas para su distribución en los camiones.
- La Zona Preventa 2: esta zona es la reservada para el producto en jaulas o jaulines, que se suministra a los camiones o trailers que se ubican en la plataforma logística. Los jaulines o jaulas, una vez contienen el producto del picking, se introducen en los camiones que llevan el reparto a las grandes superficies, quienes solicitan unas condiciones especiales de entrega y que el producto vaya en las jaulas.

- La Zona de Jaulas y devolución, corresponde al lugar en donde se recoge el producto de devolución de los comercios y se coloca en jaulas para desechar; así mismo, en esta zona se reciben las jaulas que provienen de fábrica transportadas en tráiler.
- La Zona de palets y cajas, ubicada en la mitad de la delegación, es donde se almacenan palets con productos provenientes de fábrica; en los palets hay tanto cajas, como otros productos que vienen embalados en diferentes formatos que no corresponden exactamente a una caja de cartón.

Los productos que llegan al centro son de rápido vencimiento; la entrega debe realizarse de forma eficiente entre los clientes y gestionar el flujo de pedidos y de distribución de productos de acuerdo a las prioridades de vencimiento del producto.



**Figura. 7.2.** Layout del Centro logístico Sant Feliu y distribución de zonas de trabajo.

## Descripción del contenido de trabajo del puesto analizado

El puesto de trabajo seleccionado para el análisis del caso es el Acomodador. El trabajo de este puesto se desarrolla entre las zonas de Preventa 1 y Preventa 2 durante el 90% del tiempo del turno, y los últimos 35 minutos su trabajo se desarrolla en la zona de jaulas y devolución.

Las tareas que se realizan en este puesto de trabajo son:

- Cargar jaulas con bandejas vacías y devolución al tráiler al finalizar la jornada.
- Realizar la acomodación de las bandejas en los camiones ubicados en la Zona de preventa 1.
- Coger cajas de producto del palet y colocarlas en carros para el reparto en camiones.
- Realizar el picking de jaulas a camión en la zona preventa 2.

El acomodador es el puesto de trabajo que realiza durante el 90% del tiempo de su jornada tareas de levantamiento de cargas. Se ha seleccionado después de haber realizado el diagnóstico del compromiso de los factores físicos en el levantamiento de objetos respecto a los demás puestos de trabajo dentro del centro logístico.

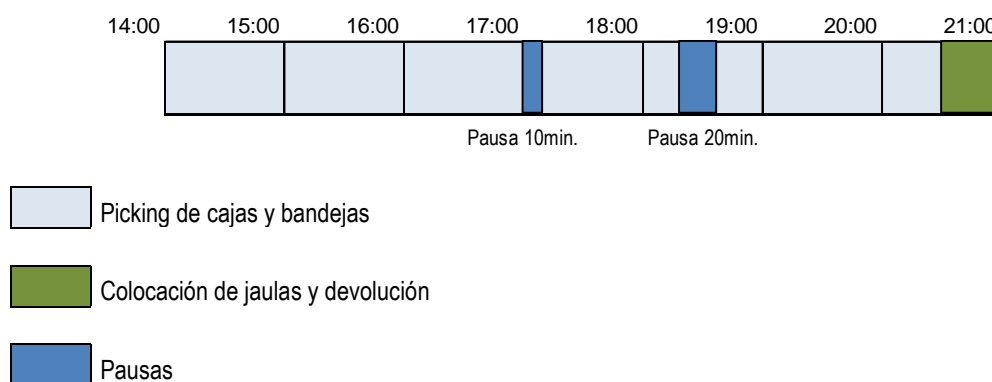
El trabajador a quien se le realizó el seguimiento preciso de todas las tareas efectuadas en el turno de trabajo era un hombre de 41 años de edad, con 7 años de antigüedad en ese mismo puesto de trabajo y no ha padecido de ningún trastorno musculoesquelético diagnosticado.

La información de las bajas y de su historial médico dentro de la empresa, ha sido aportada por el médico del trabajo del servicio de prevención propio de la empresa, quien afirma que este trabajador sólo ha registrado algunas bajas laborales por causas virales, como gripe y gastroenteritis.

## Descripción de la organización del trabajo del puesto de Acomodador

El turno de trabajo del Acomodador es de 7 horas, que corresponden a 420 minutos con una pausa de 10 minutos al inicio de la cuarta hora y una pausa de 20 minutos dentro de la quinta hora.

En la primera parte del turno se dedica a realizar el Picking de pedidos en la Zona de Preventa 1 y 2, al finalizar el turno, realiza tareas de colocación de las jaulas y colocación de la devolución. La representación gráfica del turno de trabajo se esquematiza en la **figura 7.3**.



**Figura 7.3.** Distribución de tareas y pausas en el turno de trabajo del acomodador.

Todos los trabajadores en el puesto de Acomodador, tienen una misma distribución de tiempo, aunque puede variar la duración de la tarea de colocación de jaulas y devolución en función del día de la semana, normalmente los días lunes hay más devolución de la comercialización realizada los sábados.

## Elementos de interacción del puesto de acomodador

### Cajas de diferentes productos:

El Acomodador realiza el picking de pedidos; la mayoría de producto manipulado está contenido en cajas o embalado en bases de cartón y precintado en plástico, quedando una forma similar a caja. El listado que se muestra en la **tabla 7.2**, es representativo del 80% de las cajas que se manipulan en la delegación comercial.

Producto	Peso caja (kg)	Ancho caja (cm)	Alto caja (cm)	Largo de caja (cm)
B. rolls	4,3	26,0	12,0	39,0
Sob. Peq 350 g	3,5	26,0	12,0	39,0
Sob. Peq 700 g	5,6	30,0	18,0	40,0
MG. Cuad 700g	4,2	30,0	18,0	40,0
pastcab3,7	3,7	26,0	12,0	39,0
S.Tos 30-8 CE	3,0	30,0	27,0	40,0
Silu Tost .30	3,0	30,0	27,0	40,0
S.tost s/s30	3,0	30,0	27,0	40,0
palitos oliva 892	3,0	30,0	27,0	40,0
Peanuts 300	3,6	31,0	11,0	41,0
Peanuts +20%	4,3	31,0	13,0	41,0
Pistacho 250	3,0	30,0	13,0	41,0
pat.Est.Trad	3,1	30,0	13,0	41,0
HotPop 3man	4,8	30,0	27,0	40,0
Hotpop 3 sal	4,8	30,0	27,0	40,0



**Tabla 7.2.** Productos en cajas representativos del 80% del total de productos.

En el caso de estudio, las manipulaciones que realizó el trabajador relacionadas con las cajas, fueron exclusivamente cogiendo las cajas desde los palets de almacén y colocándolas en el carro de distribución, apiladas unas sobre otras.

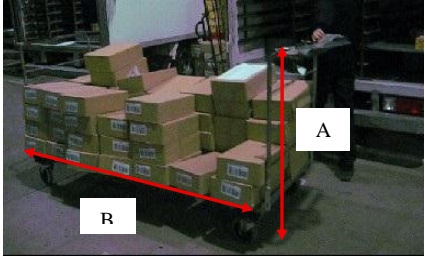
### Carro de distribución

El picking de cajas se realiza en varias fases, la primera es la colocación de las cajas de varios pedidos desde el palet al carro de distribución, el cual será llevado a la Zona de Preventa 1 o 2 dependiendo del pedido. La segunda fase es la colocación de las cajas desde el carro de distribución a los camiones, o desde el carro a las jaulas o jaulines de los pedidos de Preventa 2.

Lo más habitual es que del total de Acomodadores que hay presentes en el turno (4 personas), dos Acomodadores realicen el picking de cajas desde el palet en la zona de almacén al carro de distribución preparando los pedidos, los otros dos Acomodadores del turno realicen la siguiente fase del trabajo, consistente en colo-

car las cajas del carro en los camiones o jaulas.

El carro de distribución como elemento de interacción en las tareas de levantamiento de cargas, tiene unas dimensiones que deben ser tenidas en cuenta a la hora de analizar los levantamientos y depósitos de cajas, tiene unas dimensiones de 2m de largo, una altura de agarre de 1.08m y 1.10m de ancho (**tabla 7.3**).

	DIMENSION	m
	A (altura de agarre)	1.08
	B (largo del carro)	2.00

**Tabla 7.3.** Dimensiones relevantes del carro de distribución para el picking de cajas.

**Bandeja con diferentes productos**

Las bandejas se utilizan para el transporte de diferentes productos que se colocan en las guías de las jaulas, jaulines y camiones. Este producto, debido a sus características, no puede ser empaquetado en cajas, por ser necesario que en la parte superior del producto haya un espacio para la conservación y la calidad del mismo; al ser un producto blando se puede aplastar si se pone algo sobre él.

Los productos que se manipulan en bandejas están descritos en la **tabla 7.4**, en donde el listado es representativo del 76% de los productos que se manipulan en bandejas en la delegación comercial.

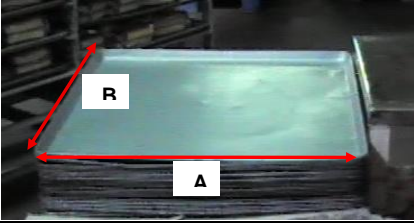
Las bandejas se manipulan normalmente desde las jaulas en las que vienen de fábrica a las guías de los camiones de la zona de Preventa 1, o a las guías de las jaulas o jaulines de la zona de preventa 2.

Debido a la geometría de las bandejas, al tamaño y a su peso, es necesario dimensionar sus características que serán tenidas en cuenta en el análisis de los levantamientos manuales.

Producto	Peso bandeja + producto (kg)
Pan normal	9,5
Sandwich 820	11,0
Sandwich 465	9,7
Pan S/C	9,5
S/C Blanc Integral	9,5
SC675g	9,5
SC +25%	10,9
Pan rustico	10,0
Ingles blanco	12,5
C. blanca +20%	10,9
Silueta F.Fa	10,0
Silueta F.No	10,0
Sil. Horno	9,3
Sil. 8 Cereal. F	10,0
Sil. 8 Cereal. N.	10,0
Silueta. S/C 8C	9,5
Inglés Integral	12,5
S. Tierna +20%	12,5
Hot Dogs-6	6,7
Burger-4	9,1
Maxi Burguer-4	7,3
Maxi Burguer-2	4,6

**Tabla 7.4.** Listado de productos en bandejas y pesos representativos de la delegación.

Las bandejas son metálicas con un peso en vacío de 2,750kg y miden 73cm x 63cm.

	DIMENSION	cm
	A	63
	B	73
	Peso (kg)	2,750

**Tabla 7.5.** Dimensiones y peso de la bandeja de distribución de productos.

## Jaulas

Las jaulas son el elemento mas usado en la logística de esta empresa, pues el 70% de los productos son transportados en jaulas. Desde fábrica se coloca el producto en las bandejas que a su vez se disponen en las jaulas; las jaulas llegan a las delegaciones comerciales y se reutilizan para el picking de los grandes clientes. También son utilizadas para el transporte del producto de devolución nuevamente a fábrica.

Las jaulas tienen una altura de 170 cm (H2), con 13 guías dispuestas cada 14 cm desde la guía mas baja (figura 7.4). La guía más baja se encuentra a una altura de 14 cm (H1) desde el suelo y la guía más alta a una altura de 157cm. El peso de la jaula en vacío es de 120kg, dependiendo del producto que tenga puede llegar a pesar hasta 300kg.



**Figura 7.4.** Dimensiones de la jaula.

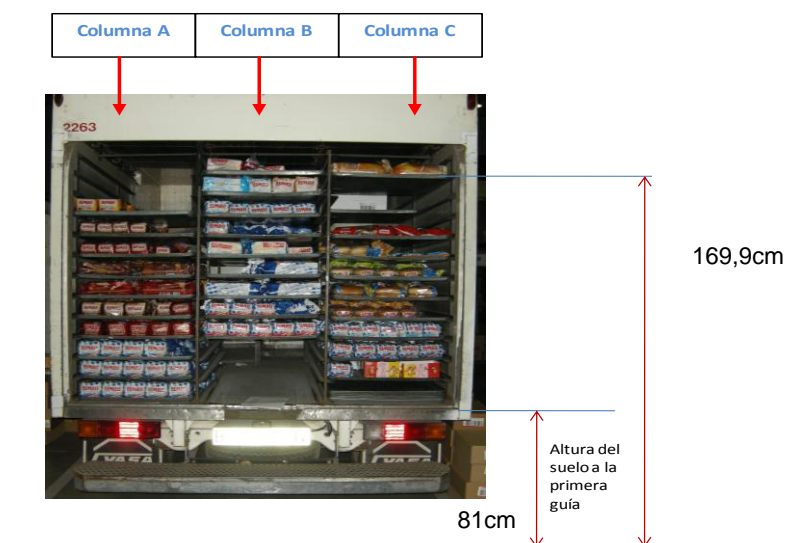
## Camiones de reparto

Los camiones de reparto de la zona de preventa 1 que van a los puntos de venta de supermercados de barrio o comercios pequeños, tienen una configuración interior con guías que permite la colocación de las bandejas y las cajas. En los camiones, el Acomodador coloca las bandejas con producto de acuerdo a la orden de pedidos de la ruta y, dependiendo del tipo de producto, se ubica en una zona u otra.

La altura a la primera guía de colocación de bandejas dentro del camión medida desde el suelo es de 80cm, y la altura desde el suelo para la colocación de la



última bandeja en altura es a 169,9cm, como se muestra en la **figura 7.5**.



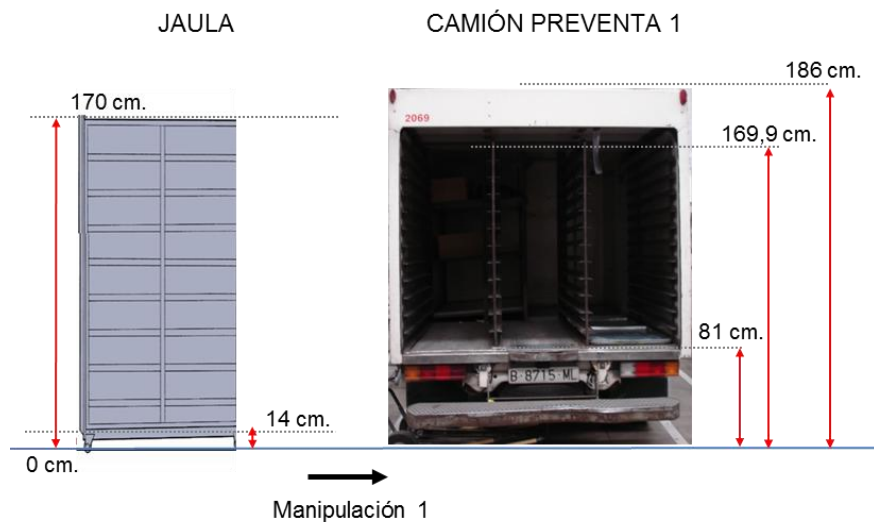
**Figura 7.5.** Dimensiones de alturas en los camiones de preventiva 1.

## Descripción de manipulaciones efectuadas

El seguimiento de las tareas de manipulación del trabajador seleccionado en el puesto de Acomodador, se resumen en dos tipos de levantamientos diferentes entre los elementos descritos en el apartado anterior.

En la primera parte del turno de trabajo, el picking lo efectúa únicamente pasando productos desde la jaula con el producto que viene de fábrica a los camiones de preventiva 1. A esta manipulación se le denominará Manipulación 1, la cual está compuesta de un origen, que es la jaula, y un destino, que es el camión de reparto.

Prácticamente realiza esta tarea durante el 60% del tiempo de trabajo en el turno en donde la situación vertical en el origen varía desde los 14cm de la primera guía de la jaula hasta los 157cm de la última guía de la jaula, y en el destino puede variar desde los 81 cm de la primera guía del camión hasta los 169,9cm de la altura de la ultima guía del camión (**figura 7.6**).

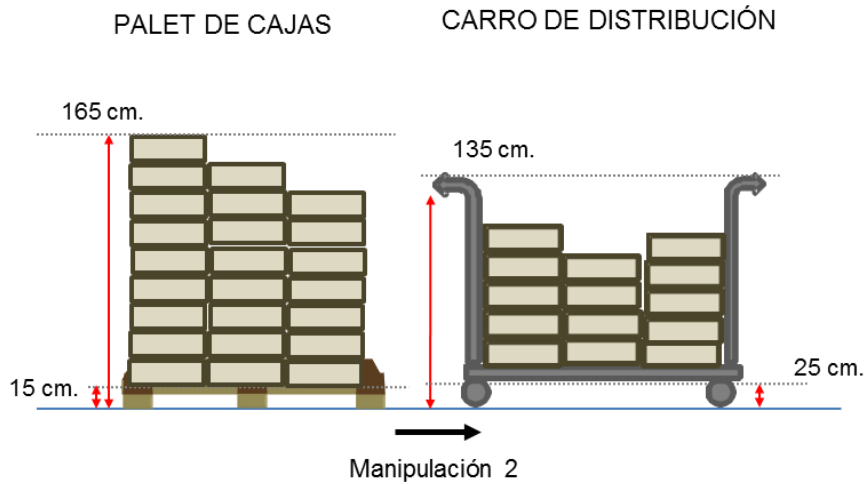


**Figura 7.6.** Dimensiones de los elementos de la Manipulación 1 de acuerdo a la variación de alturas en origen (jaula) y destino (camión).

Durante parte del turno de trabajo, el acomodador observado y analizado, efectúa un picking de cajas, desde los palets de cajas, dispuestos en la zona de Preventa 1, a los carros de distribución, que serán el destino. Esta manipulación se denominará Manipulación 2, la cual se realiza durante un 30% del tiempo de trabajo de levantamientos aproximadamente.

Las cajas dispuestas en los palets pueden estar en cualquier altura que oscila entre los 15cm y los 165cm, que es la altura máxima de los palets de cajas.

Las alturas de las cajas en el carro de distribución pueden variar entre los 25cm, que es la altura de la base del carro, hasta los 135cm, que es la máxima altura que puede recibir el carro sin obstaculizar la vista del trabajador para las maniobras (ver **figura 7.7**).



**Figura 7.7.** Dimensiones de los elementos de la Manipulación 2 de acuerdo a la variación de alturas en origen (palet) y destino (carro).

## Justificación de la elección del caso

Para analizar la aplicación del modelo propuesto dirigido al análisis de la exposición del riesgo por levantamientos manuales de cargas altamente variables se ha seleccionado un puesto de trabajo de almacén de una empresa industrial.

Se ha seleccionado una empresa del sector industrial debido a las siguientes razones, que están justificadas en los capítulos §4 y §5:

- Este sector destaca por ser en el que se realizan más evaluaciones de riesgo por levantamiento manual de cargas (78,9% respecto a los otros sectores).
- Es el segundo sector donde hay más probabilidad (0,7) que muchos o prácticamente todos los puestos de trabajo requieran levantar manualmente cargas.
- Es el sector con mayor probabilidad de levantar manualmente cajas, siendo éstas el tipo de carga más frecuentemente levantado.

- En este sector se encuentra la mayor probabilidad asociado a que el experto encuentre dificultad en medir de forma precisa los parámetros del levantamiento.

Se ha seleccionado una actividad de almacén debido a las siguientes razones:

- Según los delegados de prevención, es la actividad donde se encuentra mayor presencia de levantamientos manuales de cargas.
- Las actividades de almacén son las que presentan con mayor frecuencia variabilidad en los parámetros del levantamiento, después de las actividades de acopio de material, según los expertos.
- Según los delegados, tiene una probabilidad significativa que en las tareas de levantamiento de cargas se presente frecuentemente variabilidad en la altura de agarre (0,52) y en el peso (0,57).
- El mayor porcentaje de expertos ha valorado que en las actividades de almacén es donde se encuentra con mayor frecuencia variabilidad en los parámetros que definen los levantamientos.

Se ha seleccionado este puesto de trabajo por las siguientes razones:

- Los levantamientos manuales de cargas describen el principal contenido de trabajo de este puesto durante toda la jornada laboral.
- En este puesto se levantan manualmente cajas, siendo el tipo de carga más frecuentemente analizado por los expertos.
- Requiere levantar manualmente bandejas; las bandejas es el cuarto tipo de carga más frecuentemente analizado por los expertos y tiene asociado una probabilidad significativa en el sector industria.
- Existe una alta variabilidad en los levantamientos.

# Medición de los levantamientos

## Metodología de medición

Para el análisis de este caso, se han identificado todos los levantamientos manuales de cargas realizados en el puesto de trabajo y se han medido todos los atributos que caracterizan cada levantamiento.

La identificación de los levantamientos y medición de los atributos se ha realizado por el autor de esta tesis con la colaboración de 2 expertos en ergonomía, uno de ellos con el grado de doctor y otro con el grado de Máster en ergonomía. Este trabajo se ha realizado en la propia empresa con la siguiente distribución de tareas:

- Un experto realizó el registro videográfico y cronométrico de toda la actividad del trabajador realizada en el turno de trabajo. Se siguieron las pautas de filmación establecidas en [COLOMBINI et al., 2012].
- Los otros dos expertos realizaron las mediciones de los atributos posturales V, H, D y A, según el procedimiento establecido en [RIBEIRO, TEIXEIRA, 2009].

La velocidad de la actividad no permite realizar las mediciones de forma precisa a todos los levantamientos. Para compensar esta deficiencia, se utilizaron dos estrategias. En primer lugar, la sesión de medición de los levantamientos se repitió tres días, principalmente con el objetivo de completar las mediciones. Adicionalmente, durante el análisis de los datos, se completaron los datos imprecisos o desconocidos simulando las posturas de la persona trabajadora en laboratorio a partir del soporte del registro videográfico de la actividad, siguiendo el procedimiento establecido en [LU et al., 2011; WATERS et al., 2011b].

## Resultados

El turno de trabajo de 7 horas está compuesto de levantamientos manuales de cargas, excepto los primeros 20 minutos del turno, dedicados a tareas de prepa-

ración del puesto y del trabajo a realizar, y los últimos 25 minutos, dedicados a la colocar las jaulas vacías y con mercancía de devolución.

En la **tabla 7.6**, se describe el contenido de la jornada laboral; para la descripción de las fases de trabajo, conservando la nomenclatura utilizada en la empresa. Todas las fases que su descripción se inicia con el término picking requieren realizar levantamiento manuales de cargas, mencionando a continuación la referencia del producto a manipular.

<b>Fase</b>	<b>Hora inicio</b>
Preparación del puesto	14:00
Picking bandejas Pan Sc	14:20
Picking bandejas Pan 820	14:33
Picking bandejas pan 465	14:49
Picking bandeja Maxiburg	15:07
Picking bandeja hotdog	15:22
Picking bandeja silueta	15:35
Picking bandeja rustico	15:47
Picking bandeja Cort blanca	16:02
Picking bandeja Ingles	16:15
Picking bandeja Maxi-2	16:27
Picking bandeja cereales	16:43
Picking bandeja Yogurt	16:58
Pausa	17:00
Picking Cajas ruta 1	17:12
Pausa	18:15
Picking Cajas ruta 1	18:35
Picking ingles integral	19:18
Picking fibra integral	19:39
Picking pan 873	19:56
Picking Siluet 25	20:17
Colocación de jaulas y devolución	20:35
Fin de turno	21:00

**Tabla 7.6.** Estructura temporal del contenido del turno de trabajo

En total, en el turno se realizan levantamientos manuales durante 343 minutos, estructurados en 18 fases (**tabla 7.7**).

Dado que la mayoría de las fases de trabajo que implican levantamientos manuales tienen una duración inferior a 30 minutos, no se pueden considerar tareas de levantamiento distintas para su análisis como una secuencia de tareas [WATERS, et al., 2007]. Si se consideraran como una secuencia de tareas, el índice de levantamiento resultante sería igual al índice de levantamiento de la tarea más penosa.

duración fases de levantamiento (min)	
mínimo	2
máximo	63
Media ( $\sigma$ )	19,1 (13,5)
suma total	343
N	18

**Tabla 7.7.** Duración de las fases de levantamiento que componen el turno de trabajo

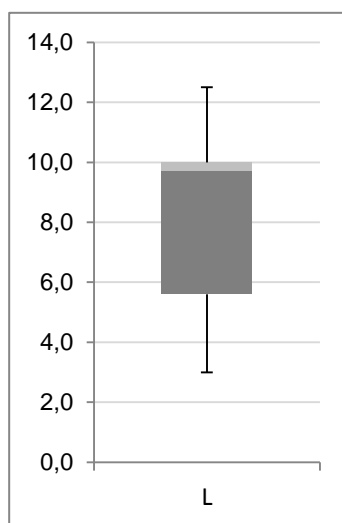
Por lo tanto, el análisis de la exposición al riesgo en este puesto de trabajo se analizará como una única tarea de levantamientos manuales, que se realiza durante 343 minutos al día.

En esta tarea se han identificado 366 levantamientos manuales, con una frecuencia promedio de 1,07 levantamientos/minuto, de cajas y bandejas de peso comprendido entre 1,5 y 12,5kg (**tabla 7.8**).

Los pesos inferiores a 3kg no se consideran como levantamientos manuales de carga por definición [CEN, 2003]. Por este motivo, todos los levantamientos que se realizan de cajas cuyo peso es 1,5 y 2,8kg se omitirán para el análisis del nivel de riesgo por exposición al levantamiento manual de cargas (**figura 7.8**).

Peso (kg)	Tipo carga	Nº levantamientos
1,5	Caja	20
2,8	Caja	22
3	Caja	12
3,5	Caja	18
4,2	Caja	8
4,3	Caja	5
4,8	Caja	12
4,9	Bandeja	15
5,6	Caja	20
6,7	Bandeja	15
6,8	Caja	9
7,3	Bandeja	30
8,7	Bandeja	15
9,7	Bandeja	30
10	Bandeja	60
10,9	Bandeja	30
11	Bandeja	15
12	Bandeja	15
12,5	Bandeja	15
Total (N)		366

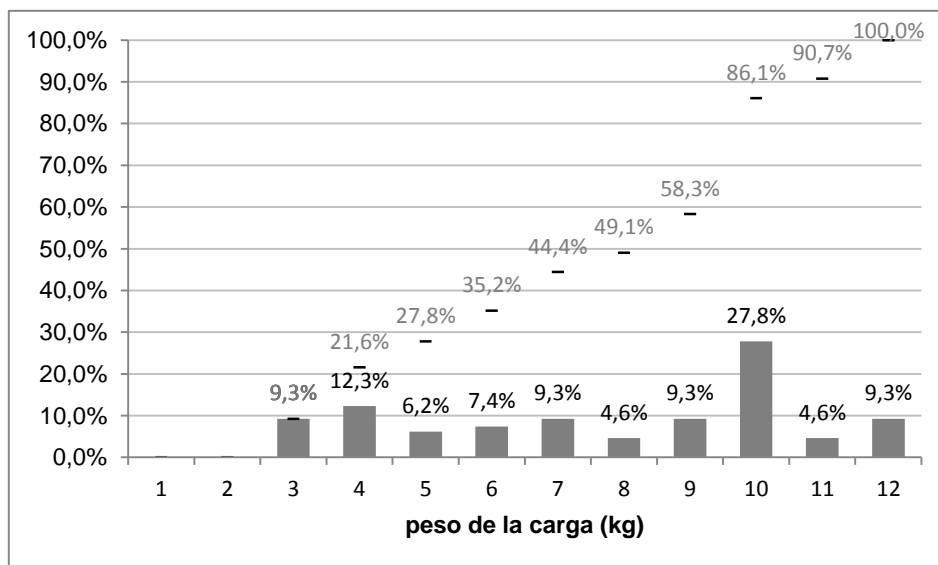
**Tabla 7.8.** Número de levantamientos realizados en el turno según el peso y el tipo de la carga.



**Figura 7.8.** Distribución de los pesos (kg) de las cargas levantadas, con peso mayor o igual a 3kg.



Tras esta criba, se puede afirmar que el puesto de trabajo se caracteriza por una tarea de levantamiento de cargas, compuesta de 324 levantamientos manuales de cargas o subtareas, con una frecuencia promedio de 0,94 levantamientos por minuto, cuyos pesos están comprendidos entre 3 y 12,5kg; siendo la mitad de los pesos aproximadamente (49,1%) menores a 9kg, y con una predominancia de las cargas que pesan más de 9 y menos de 11kg (27,8%).



**Figura 7.9.** Distribución de la frecuencia de levantamientos según el peso de la carga levantada manualmente en el turno.

Los atributos posturales que definen cada uno de los 324 levantamientos se resumen en la siguiente tabla. La altura de agarre (V) varía entre 14 y 170cm, con 40 valores diferentes; la distancia horizontal (H) varía entre 20 y 62cm, con 40 valores diferentes; y se presenta una asimetría entre 0° y 63°, dependiendo del levantamiento, obteniendo 50 valores distintos de ángulos.

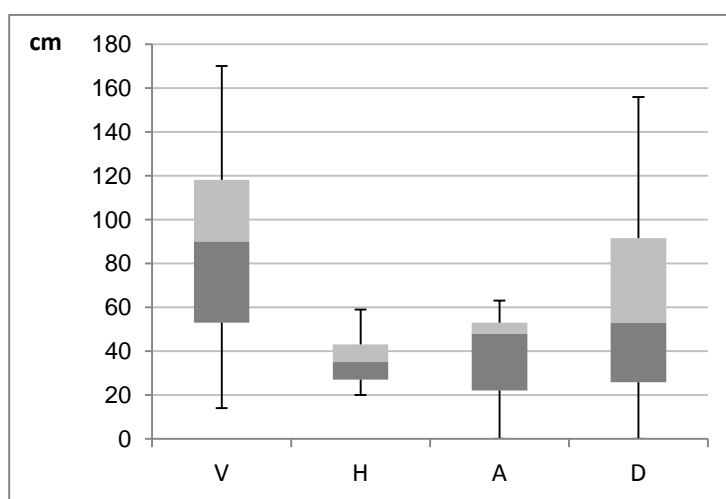
Todos los atributos (V, H y A) que caracterizan la exigencia postural de los levantamientos tienen asociado un coeficiente de variación superior al 24%, por lo que queda patente la alta variabilidad en la exposición a los levantamientos, reflejada en la **tabla 7.9**.

Parámetros medidos		Min	Max	Media ( $\sigma$ )	Coef. Variación	Valores diferentes
	L (kg)	3,0	12,5	8,2 (2,8)	34,1%	17
origen	V (cm)	14,0	170,0	85,7 (45,9)	53,6%	33
	H (cm)	20,0	59,0	35,5 (9,9)	27,8%	40
	A (°)	0,0	63,0	39,9 (17,6)	44,0%	50
destino	V (cm)	25,0	169,9	119,1 (39,8)	33,4%	40
	H (cm)	22,0	62,0	40,2 (9,7)	24,0%	39
	A (°)	0,0	49,0	19,8 (9,8)	49,6%	42
	D (cm)	0,0	155,9	60,1 (39,1)	65,1%	122

**Tabla 7.9.** Resultados de las mediciones de los parámetros que definen los levantamientos.

El atributo V tiene una alta variabilidad, tal y como era de esperar en un puesto de trabajo en almacén. Esta variabilidad influye en el atributo D, que tiene una variabilidad similar.

El atributo H presenta una alta variabilidad en sus valores, pero evidentemente, dentro de su dominio, que está más fuertemente acotado; valores inferiores a 15cm es muy difícil que se presenten debido a la interferencia con el abdomen, y valores superiores a 63cm estarán fuera del alcance máximo de una parte significativa de la población.



**Figura 7.10.** Diagrama de cajas de los valores medidos de los atributos V, H, A y D.

El atributo A presenta una variabilidad significativa, pero en un rango acotado inferior a  $63^\circ$ . Cabe considerar que en este puesto de trabajo no existen restricciones de espacio para realizar los levantamientos, ni interacciones con máquinas que pueden restringir las posibilidades posturales de la persona trabajadora. Por tanto, las asimetrías presentes en este puesto de trabajo vienen originadas principalmente por hábitos posturales.

En este caso, cerca del 25% de los levantamientos no comportan una asimetría significativa ( $A < 20^\circ$ ), pero en más del 50% de los levantamientos se realiza una asimetría superior a  $45^\circ$ . A pesar que este atributo no viene determinado por condicionantes estructurales del puesto de trabajo, es significativa su consideración en la caracterización de la exposición al riesgo, y de esta forma, se podrá valorar el posible impacto de intervenciones organizacionales, como las acciones formativas dirigidas a la corrección de los hábitos posturales.

Las cargas levantadas, tanto las cajas como las bandejas, carecen de asidero que permita un agarre cómodo. En este caso, todas las cargas levantadas se valoran en la categoría de calidad de agarre “mala”, por lo que será una constante en el problema.

## Exposición del problema

Tenemos un puesto de trabajo cuyo trabajador está expuesto diariamente a una tarea T de levantamiento manual de cargas. El universo de análisis del riesgo al que está expuesto queda definido por  $\{FLI_T, N_T, WD_T, TL_T, TF_T, ST_T, F_T, LI_T\}$ ; siendo,

$N_T = 324$ , el número de subtareas de levantamiento que la componen;

$WD_T = 343$ , la duración total en minutos de la tarea de levantamientos;

$TL_T = 324$ , el número total de levantamientos realizados durante la tarea; en este caso coincide con el número de subtareas, puesto que cada subtask es un levantamiento;

$TF_T = 0,94$ , la frecuencia promedio de levantamientos durante la duración de la tarea, expresados en levantamientos por minuto;

$ST_T: \{ST_{1,T}, \dots, ST_{324,T}\}$ , el conjunto de subtareas de levantamiento que definen la tarea;

$F_T = \{0,003\}$ , la frecuencia de levantamientos de cada subtask en levantamientos por minuto, con un valor constante para todas las subtareas igual a 0,003;

$LI_T: \{LI_1, \dots, LI_{324}\}$ , los índices de levantamiento de cada subtask;

Cada  $ST_{i,T}$  está definida por su universo de análisis  $\{LI_i, L_i, V_i, H_i, D_i, C_i, A_i, F_i\}$ ; siendo,

$LI_i$  el índice de levantamiento asociado al levantamiento  $i$ ; valor asociado del conjunto  $LI_T$ ;

$L_i$ : el peso del objeto levantado, cuyo valor forma parte una muestra de 17 valores caracterizados por un valor promedio de 8,21 y  $\sigma = 2,8$ ;

$V_i$ : la altura de agarre del objeto desde el suelo, cuyo valor forma parte una muestra de 33 valores caracterizados por un valor promedio de 85,7 y  $\sigma = 45,9$ ;

$H_i$ : la distancia horizontal del punto medio de agarre del objeto al centro de masas del cuerpo, cuyo valor forma parte una muestra de 40 valores caracterizados por un valor promedio de 35,5 y  $\sigma = 9,9$ ;

$D_i$ : la dislocación vertical del trayecto de la carga entre el origen y el destino, cuyo valor forma parte una muestra de 122 valores caracterizados por un valor promedio de 60,1 y  $\sigma = 39,1$ ;

$C_i = \text{"mala"}$ , la etiqueta que representa la calidad del tipo de agarre que permite el objeto levantado;

$A_i$ : el ángulo de asimetría del tronco respecto al plano sagital, cuyo valor forma parte una muestra de 50 valores caracterizados por un valor promedio de 39,9 y  $\sigma = 17,6$ ;

$F_i = 0,003$ , la frecuencia de levantamientos realizados en la subtask.

Se debe encontrar el valor de  $FLI_T$ , un número positivo que representa el nivel de riesgo final de la tarea  $T$  debido al levantamiento manual de cargas.

# Aproximación al problema

El problema planteado está caracterizado por  $N_T = 324 \gg 10$ , por lo que los modelos actuales (LI y CLI) no son aplicables para determinar FLI, tal y como se ha demostrado en el capítulo §6.

Para desarrollar una aproximación a este problema, en primer lugar se utilizará el modelo VLI propuesto; en segundo lugar, se aplicará de nuevo el modelo VLI propuesto al resultado de reducir la dimensión de cada uno de los atributos; y por último, se realizará una aplicación integral de los criterios de reducción desde dos enfoques, la reducción múltiple de los atributos y la observación reducida de los atributos.

## Aplicación del modelo VLI

La aplicación del modelo VLI propuesto permite obtener el valor  $FLI_T = VLI_T$  que cuantifica el nivel de riesgo por exposición de la persona trabajadora debido a una tarea de levantamiento manual de cargas donde  $N_T \gg 10$ .

Dado que este caso está caracterizado por una única tarea de levantamientos T, con la intención de facilitar la lectura, de aquí en adelante se simplificará la notación utilizada, omitiendo el subíndice T de todos los parámetros referidos a la tarea T de levantamientos.

Para la aplicación del modelo VLI, el primer paso es realizar un análisis individualizado de cada una de las subtareas de levantamiento, determinando los valores de los multiplicadores asociados a los atributos medidos, para posteriormente, obtener el valor FILI y LI de la subtarea.

Los factores multiplicadores asociados a los atributos medidos de cada subtarea se han calculado a partir del procedimiento expuesto en el capítulo §3.

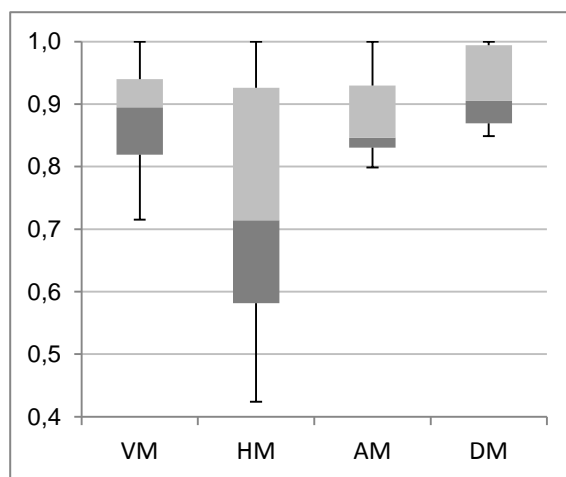
Dado que la valoración de la calidad del agarre de las cargas levantadas se ha identificado como una constante para todos los levantamientos, el valor del factor multiplicador CM permanece constante, igual a 0,9 para todas las subtareas, y por tanto, su contribución al valor LI será del 10%.

Para el multiplicador de la distancia vertical, VM, se han obtenido 26 valores diferentes, con un valor promedio de 0,881 y  $\sigma = 0,076$ ; su valor máximo es 1, el óptimo, en cuyos casos, no contribuirá al nivel de exigencia de la subtarea; y su valor mínimo es 0,715, con una contribución para estos casos del 28,5%. El amplio rango de valores del atributo V, prácticamente cubriendo todo su dominio, ha quedado reflejado en un amplio rango de valores de VM.

El multiplicador de la distancia horizontal, HM, presenta 35 valores diferentes, con un valor promedio de 0,741 y  $\sigma = 0,181$ ; su valor mínimo es 0,42, con una contribución máxima del 57,6%. Cabe considerar adicionalmente que, casi la mitad de las subtareas tienen asociado un valor de HM inferior a 0,7, siendo el multiplicador de mayor contribución, tal y como se puede ver en la **figura 7.11**.

Los ángulos de asimetría presentes en los levantamientos generan 50 valores diferentes del multiplicador de asimetría AM, con un valor promedio de 0,872 y  $\sigma = 0,056$ . Su valor extremo mínimo 0,798 proporciona una contribución del 20,2% sobre el índice de esas subtareas.

El multiplicador dislocación vertical, DM, presenta 91 valores, con una media 0,921 y  $\sigma = 0,057$ . Su máxima contribución es de 15,1%, en la subtarea con valor mínimo de DM, 0,849, Este factor multiplicador es el que proporciona una contribución máxima menor.

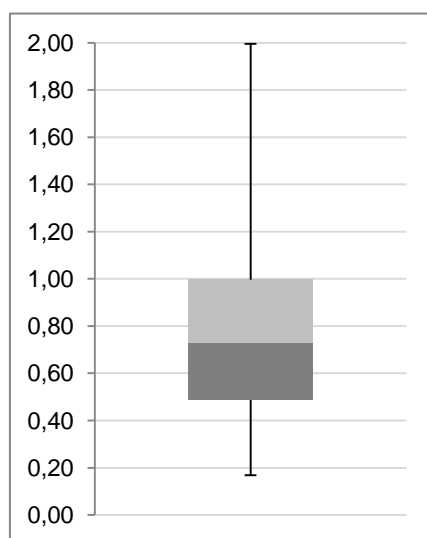


**Figura 7.11.** Distribución de los valores de los multiplicadores VM, HM, AM y DM.

A partir de los valores de los cinco multiplicadores (**figura 7.11**) y del peso de la carga levantada, es posible calcular los valores FILI de cada subtarea. Como la frecuencia  $F_i$  asociada a cada subtarea es  $0,003 < 0,1$ , el factor multiplicador de la frecuencia FM será igual a 1 para todas las subtareas. De ahí se deriva que  $LI_i = FILI_i$ , para toda subtarea.

Los valores resultantes definen el conjunto LI:  $\{LI_1, \dots, LI_{324}\}$ , los índices de levantamiento de cada subtarea, caracterizados por un valor promedio de 0,766 y  $\sigma = 0,369$ . Como se ha argumentado, este conjunto es idéntico al conjunto FILI:  $\{FILI_1, \dots, FILI_{324}\}$ , de los índices de levantamiento independientes de la frecuencia de cada subtarea.

Los valores FILI de este caso están comprendidos entre 1,996 y 0,168, con un valor medio de 0,776 y  $\sigma = 0,369$ . Por tanto, es posible afirmar que VLI será mayor de 1,996, índice que caracteriza el levantamiento más exigente.



**Figura 7.12.** Distribución de los valores FILI de los 324 levantamientos realizados.

Ahora, es posible definir el sistema de clasificación STC sobre las subtareas, por similitud de los valores del atributo FILI.

El sistema de clasificación STC se define a partir de su dimensión TC y el criterio de discernibilidad utilizado para la pertenencia a las clases. En este caso, tal y

como se ha argumentado en el capítulo §6, se utilizará  $TC = 6$  y el criterio de discernibilidad de sextiles sobre el conjunto ordenado  $FILI' = \{FILI, \leq\}$ .

Así, las clases de STC quedan definidas por sus valores límite (**tabla 7.10**), garantizando el mismo número de casos por categoría al utilizar un criterio de posicionamiento como los sextiles.

	mínimo	1er sextil	2º sextil	3er sextil	4º sextil	5º sextil	máximo
$FILI'$	0,1676	0,3787	0,5861	0,7301	0,8859	1,1502	1,9957

**Tabla 7.10.** Valores límite que definen los rangos de pertenencia por valores  $FILI'$  en el sistema de clasificación STC.

Siguiendo el procedimiento del modelo VLI, a cada clase  $STC_i$  se le asigna un valor de índice de levantamiento independiente de la frecuencia,  $FILI_i^{STC'}$ , y de frecuencia,  $F_{STC_i}$ , tal y como se muestra en la **tabla 7.11**.

	$STC'_1$	$STC'_2$	$STC'_3$	$STC'_4$	$STC'_5$	$STC'_6$
$FILI_i^{STC'}$	1,9957	1,0003	0,8023	0,6627	0,4823	0,2780
$F_{STC_i}$	0,1600	0,3200	0,4700	0,6300	0,7900	0,9500

**Tabla 7.11.** Sistema de clasificación STC con los valores representativos de  $FILI'$  y  $F'$ .

Con estos valores, ya es posible calcular los valores  $LI'_i$  asociados a cada  $STC'_i$  y aplicar el cálculo de VLI. Los resultados del modelo VLI sobre los datos originales medidos se proporcionan en la **tabla 7.12**.

El valor de VLI obtenido con los datos originales medidos es 2,44. Este valor proporciona la información que la persona trabajadora está expuesta a un riesgo significativo por levantamiento manual de cargas.



Nº subtareas:	324					
<b>Parámetros</b>	<b>L</b>	<b>VM</b>	<b>HM</b>	<b>AM</b>	<b>DM</b>	<b>CM</b>
Media ( $\sigma$ )	8,21 (2,8)	0,881 (0,076)	0,741 (0,181)	0,872 (0,056)	0,921 (0,057)	0,9 (0)
Valores diferentes	17	26	35	50	91	1

	<b>FILI</b>	<b>Llmax</b>	2,348			
Min	0,168	<b>Sum1</b>	<b>Sum2</b>	<b>Sum3</b>	<b>Sum4</b>	<b>Sum5</b>
Max	1,996	0,023	0,024	0,020	0,015	0,009
Media ( $\sigma$ )	0,766 (0,369)				<b>VLI =</b>	<b>2,44</b>

**Tabla 7.12.** Resumen de los resultados de aplicación del modelo VLI a los datos originales medidos de las 324 subtareas.

Como se puede comprobar, la aplicación del modelo VLI obtiene una caracterización de la exposición al riesgo, asegurando la consideración de todos los levantamientos realizados. Es evidente, que dado que en este caso, todos los levantamientos son equi-frecuenciales, la contribución de la categoría de valores FILI menores,  $STC'_6$ , será mínima (es menor a 0,01) sobre el índice final.

Debido a que la variabilidad sobre los atributos posturales está presente de forma similar en cada peso levantado (**figura 7.13**), el atributo peso tiene una contribución significativa sobre los valores FILI, explicando su correlación lineal el 57% de la varianza de los valores FILI.

La varianza restante de los valores FILI (43%) se explica por la variación en los atributos posturales V, H, A y D; el atributo C, por ser constante en todos los levantamientos realizados no contribuye a su explicación.

Como se puede ver, en este caso, los valores máximos de FILI se producen para el valor máximo de peso, por lo que es de esperar que el índice resultante sea altamente sensible a modificaciones asociadas a atributos de las subtareas de mayor peso.

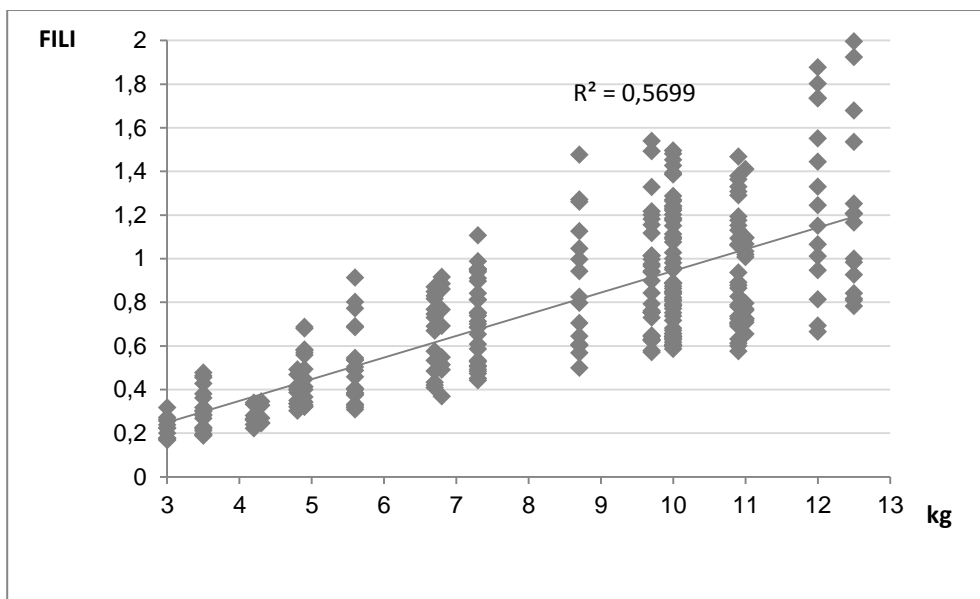


Figura 7.13. Distribución de los valores de FILI según el peso de la carga levantada.

## Reducción del atributo L

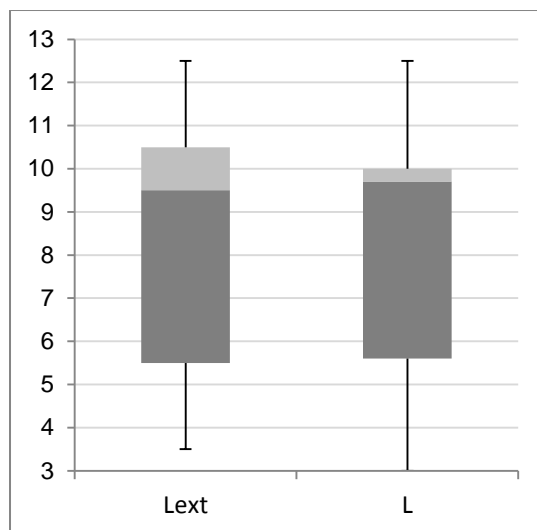
Partimos de un caso donde la dimensión del atributo L es  $\mathcal{C}(L) = 17$ . El objetivo de reducir el atributo L es disminuir esta dimensión.

$L:\{3;3,5;4,2;4,3;4,8;4,9;5,6;6,7;6,8;7,3;8,7;9,7;10;10,9;11;12;12,5\}$

Para reducir la dimensión del atributo L, se han propuesto anteriormente dos niveles de reducción: reducción externa y reducción interna.

El resultado de aplicar la reducción externa a este caso es  $\mathcal{C}(L_{ext}) = 10 < 17$ , y por tanto tiene una buena capacidad reductora.

Si se comparan las distribuciones de los valores de peso originales L con los resultantes de la reducción  $L_{ext}$  (figura 7.14), la alteración en la representatividad de los datos es mínima.



**Figura 7.14.** Distribución de los valores de Lext comparados a la distribución de valores de L.

Por tanto, es esperable un resultado similar de la aplicación del modelo VLI. De hecho, se obtiene un valor VLI = 2,44 (**tabla 7.13**), idéntico hasta los dos decimales al obtenido con los datos originales, sin reducir.

Nº subtareas virtuales:		324					
Parámetros		L	VM	HM	AM	DM	CM
Media ( $\sigma$ )		8,27 (2,88)	0,881 (0,076)	0,741 (0,181)	0,872 (0,056)	0,921 (0,057)	0,9 (0)
Valores diferentes		10	26	35	50	91	1
FILI			Llmax	2,348			
Min	0,188		Sum1	Sum2	Sum3	Sum4	Sum5
Max	1,996		0,023	0,024	0,020	0,015	0,009
Media ( $\sigma$ )	0,772 (0,377)					VLI =	2,44

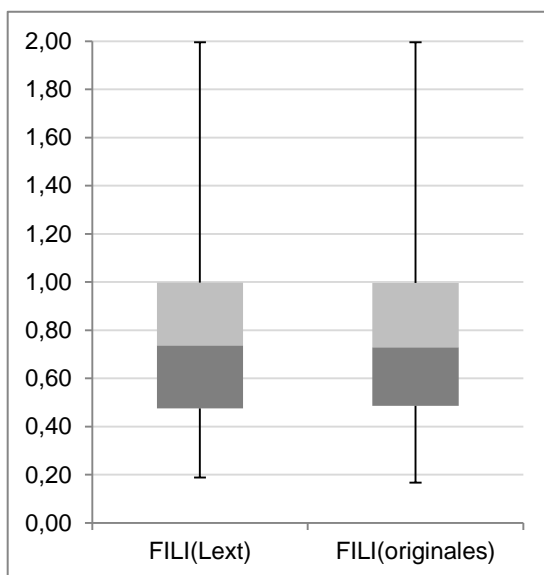
**Tabla 7.13.** Resumen de los resultados de aplicación del modelo VLI al resultado de aplicar la reducción Lint

A pesar que la dimensión del atributo L ha quedado reducida substancialmente, la dimensión del universo de análisis no se ha reducido, estando compuesto de 324 subtareas virtuales.

El hecho que el valor VLI obtenido tras la reducción sea idéntico al original se puede explicar por dos argumentos.

En primer lugar, la reducción no ha desplazado los valores de peso mayor. Recordemos que la reducción externa asigna un valor representativo a cada clase  $Lext_i$  que componen el sistema de clasificación Lext. Este valor puede representar una diferencia máxima de 0,5kg con el valor original. En este caso, el valor de peso máximo (12,5kg) sufre una diferencia nula tras la reducción. Como se ha comentado en el apartado anterior, los valores de FILI mayores de este caso se originan para el valor de peso máximo. Si éste sufriera alteraciones, se esperaría una diferencia en el índice resultante.

En segundo lugar, tal y como se muestra en la siguiente **figura 7.15**, la distribución de valores FILI se altera únicamente en los valores extremos mínimos, que quedan ligeramente incrementados. Es esperable que el índice resultante sea ligeramente superior, pero como se ha constatado, la diferencia será menor a una milésima del índice.



**Figura 7.15.** Distribución de los valores FILI calculados sobre el espacio reducido Lext en comparación con los valores FILI de los datos originales.

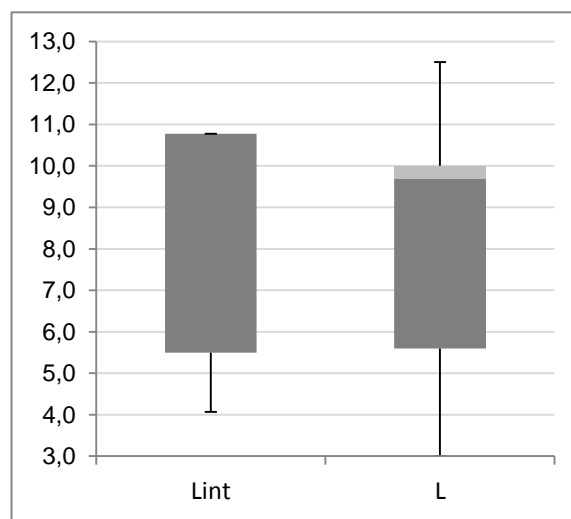
Adicionalmente, se ha propuesto una reducción más fuerte, llamada reducción interna. Aplicando el sistema de reducción interna Lint, con  $P=5$ , se obtiene:

$$\epsilon(Lint) = 5 < \epsilon(Lext) < 17;$$

demostrando su fuerte capacidad reductora.

Debido a que los valores del atributo L están bastante uniformemente distribuidos, no existe ningún  $Lint_i$ , tal que  $Lint_i = \emptyset$ .

Sin embargo, observando en la **figura 7.16**, la distribución de los valores asignados a cada clase de  $Lint$ , su alteración es evidente, especialmente en los valores de peso alto; considerando la sensibilidad del peso máximo sobre el índice en este caso, es esperable una subvaloración del riesgo significativa.



**Figura 7.16.** Distribución de valores del peso tras la aplicación de la reducción  $Lint$  comparados con los valores originales de  $L$ .

Como resultado de aplicar la reducción  $Lint$  sobre el espacio reducido anteriormente por  $Lext$ , es  $VLI = 2,11$ , con una subvaloración significativa respecto al obtenido con los datos sin reducir (**tabla 7.14**).

La clase de valores mayores,  $Lint_5$ , ha quedado definida por el rango  $[9,5; 12,5]$ , con un valor representativo de 10,77, y reduciendo en 1,8kg el peso máximo levantado.

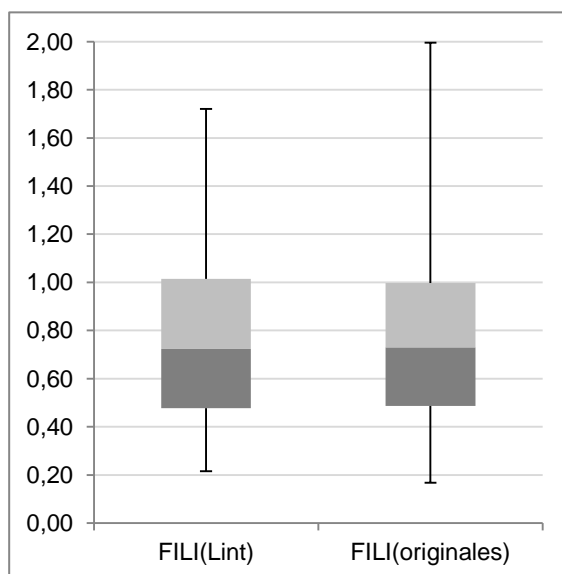
Nº subtareas virtuales:		324					
Parámetros		L	VM	HM	AM	DM	CM
Media (σ)		8,27 (2,78)	0,881 (0,076)	0,741 (0,181)	0,872 (0,056)	0,921 (0,057)	0,9 (0)
Valores diferentes		5	26	35	50	91	1
FILI		Llmax		2,023			
Min	0,215	Sum1	Sum2	Sum3	Sum4	Sum5	
Max	1,72	0,023	0,024	0,020	0,015	0,009	
Media	0,771					VLI =	2,11
(σ)	(0,365)						

**Tabla 7.14.** Resumen de resultados de la aplicación de la reducción Lint sobre la reducción Lext.

Los valores que representan a las clases resultantes de la reducción son:

Lint:{4,07; 5,50; 7,06; 8,50; 10,77}

Tal y como se percibe en el diagrama de cajas de los valores FILI (**figura 7.17**), la diferencia asignada a los pesos mayores, impacta directamente en una disminución de los valores extremos máximos de FILI.



**Figura 7.17.** Distribución de valores FILI resultantes de la reducción Lint respecto a la distribución de los valores FILI de los datos sin reducir.

Debido a la alta bondad demostrada por la reducción Lext, la reducción de los

otros atributos se analizará sobre el espacio reducido Lext.

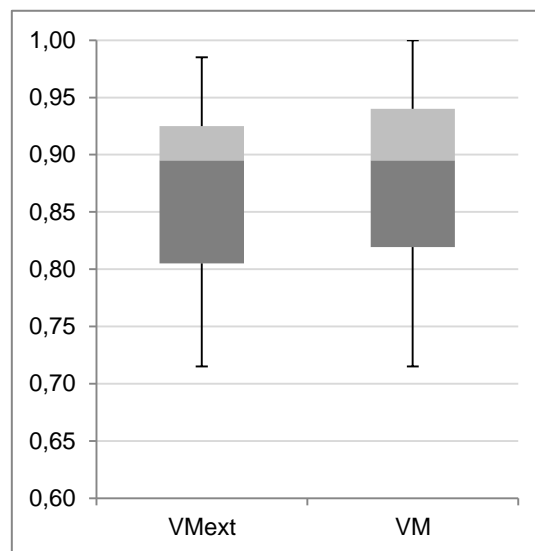
## Reducción del atributo V

Para el atributo V se han propuesto dos posibles reducciones, una reducción externa Vext, consistente en disminuir la precisión de los valores del atributo, y una reducción interna, llamada Vr.

Aplicando la reducción externa, se obtiene  $\epsilon(V^{ext}) = 17 < \epsilon(V) = 33$ , y por tanto, reduce el 49% la dimensión de V.

Los valores resultantes de Vext tienen una media de 81,6cm y  $\sigma = 46,2$ , respecto a 85,6cm y  $\sigma = 45,9$  de los datos sin reducir. Considerando que una diferencia de 5cm produce una variación de 0,015 en VM, la diferencia esperada en los valores de VMext respecto a VM son mínimas.

Al comparar las distribuciones de valores de VM con la reducción externa y sin ella, se puede comprobar que las variaciones se producen principalmente en los valores más altos (más favorables), tal y como se confirma en la **figura 7.18**.



**Figura 7.18.** Distribución de los valores del multiplicador VMext en comparación con VM de los datos originales sin reducir.

La reducción Vext produce una disminución de la dimensionalidad en los valores de VM, siendo  $\epsilon(VM^{ext}) = 10 < \epsilon(VM) = 26$ , sin perder calidad de la información.

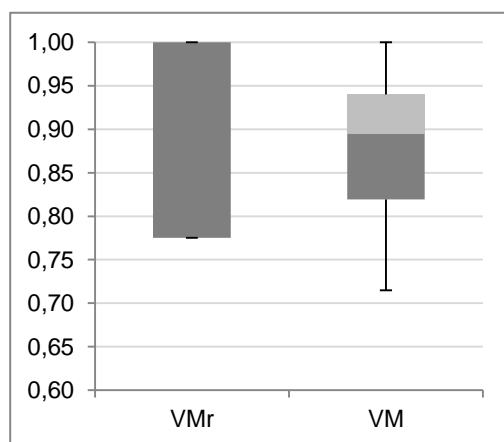
De hecho, se obtiene un resultado idéntico de  $VLI = 2,44$ .

Nº subtareas virtuales:	324					
Parámetros	L	VM	HM	AM	DM	CM
Media (σ)	8,27 (2,88)	0,881 (0,074)	0,741 (0,181)	0,872 (0,056)	0,921 (0,057)	0,9 (0)
Valores diferentes	10	10	35	50	91	1
FILI		LImax	2,348			
Min	0,191	Sum1	Sum2	Sum3	Sum4	Sum5
Max	1,996	0,023	0,024	0,020	0,015	0,009
Media (σ)	0,772 (0,377)				VLI =	2,44

**Tabla 7.15.** Resumen de resultados de la aplicación del modelo VLI a la reducción Vext.

Adicionalmente, se ha propuesto una reducción mayor del atributo V,  $V_r$ , que se procesa en dos pasos (reducción de nivel 1 y de nivel 2). El resultado de aplicar los dos niveles de reducción es  $\epsilon(V^R) = 2$ , siendo  $V_r: \{0; 75\}$ , y  $\epsilon(VMr) = 2$ , siendo  $VMr: \{0,775; 1\}$ .

Como se observa en la comparativa de distribuciones de valores de  $VM_r$  y  $VM$  (**figura 7.19**), se espera obtener una ligera sobrestimación del índice resultante.



**Figura 7.19.** Distribución de los valores  $VM_r$  y  $VM$ .

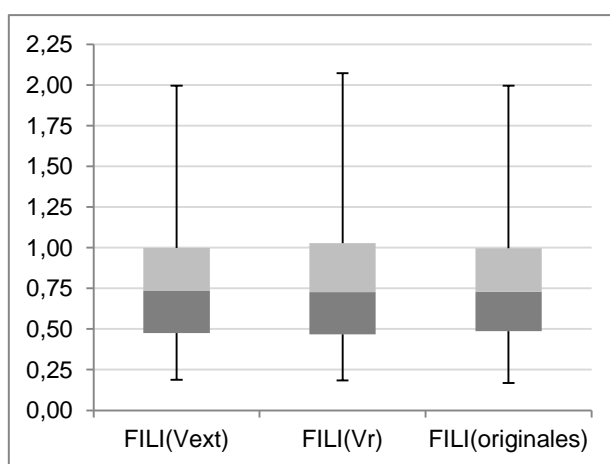


De todas formas, para la potencia de su capacidad reductora, pasando de  $\varphi(\text{VM}) = 26$  a  $\varphi(\text{VMr}) = 2$ , el valor resultante  $\text{VLI} = 2,53$  representa una buena aproximación (tabla 7.16).

Nº subtareas virtuales:		324					
Parámetros		L	VM	HM	AM	DM	CM
Media ( $\sigma$ )		8,27 (2,88)	0,899 (0,112)	0,741 (0,181)	0,872 (0,056)	0,921 (0,057)	0,9 (0)
Valores diferentes		10	2	35	50	91	1
FILl			Llmax	2,439			
Min	0,184		Sum1	Sum2	Sum3	Sum4	Sum5
Max	2,073		0,023	0,024	0,019	0,014	0,009
Media ( $\sigma$ )	0,768 (0,391)						VLI = 2,53

**Tabla 7.16.** Resumen de resultado de la aplicación del modelo VLI al espacio reducido por Vext y Vr.

Comparando las distribuciones de los valores FILl de las dos reducciones propuestas para el atributo V y la distribución original de los valores medidos, se aprecia en la **figura 7.20**, que la reducción Vext reproduce fielmente los datos originales, todo y utilizar 10 valores de VM, en vez de 26. En cambio, la reducción Vr provoca un ligero incremento de los valores FILl mayores, originando el incremento en el valor VLI final.



**Figura 7.20.** Distribuciones de valores FILl resultantes de las dos reducciones del atributo V comparadas con los valores FILl originales.

## Reducción del atributo H

La reducción propuesta para el atributo H, Hr, tiene como objetivo reducir la dimensión de H de forma que  $1 \leq \mathcal{C}(Hr) \leq 3$ .

Teniendo en cuenta que el caso analizado tiene una dimensión  $\mathcal{C}(H) = 40$ , se puede considerar una reducción bastante fuerte.

Como resultado de su aplicación al caso, la dimensión queda reducida a  $\mathcal{C}(Hr) = 3$ ,  $\mathcal{C}(HMr) = 3$ . Todo y la fuerte reducción del atributo H, su efecto en la dimensionalidad del problema es despreciable, reduciendo el número de subtareas virtuales de 324 a 322.

El resultado de aplicar el modelo VLI sobre la reducción Hr es  $VLI = 2,79$ , significativamente mayor al obtenido con los datos sin reducir.

Nº subtareas virtuales:		322					
Parámetros		L	VM	HM	AM	DM	CM
Media (σ)		8,27 (2,88)	0,881 (0,076)	0,65 (0,101)	0,872 (0,056)	0,921 (0,057)	0,9 (0)
Valores diferentes		10	26	3	50	91	1
FILI		Llmax		2,689			
Min	0,263	Sum1	Sum2	Sum3	Sum4	Sum5	
Max	2,286	0,023	0,029	0,023	0,015	0,011	
Media	0,849					VLI =	2,79
(σ)	(0,393)						

**Tabla 7.17.** Resumen de resultados de la aplicación del modelo VLI sobre la reducción Hr.

Esta reducción tiene una tendencia a sobrevalorar los casos en los que los levantamientos se realizan en unas condiciones del atributo H óptimas. En este caso, aproximadamente el 50% de los levantamientos se realiza con valores del atributo  $H < 35\text{cm}$ . Recordemos que la clase de valores menores de H de la reducción Hr,  $H_{NE,T}^R$ , definida por el rango [25; 40], se le asigna como valor reducido  $H_{NE}^R = 35$ .

En los casos de aplicación en los que, mediante observación o muestreo de medición, sea posible identificar el valor máximo y mínimo del dominio del atributo H, se propone utilizar un criterio variable, que se llamará Hr'.

Se define la reducción variable de H, Hr', como:

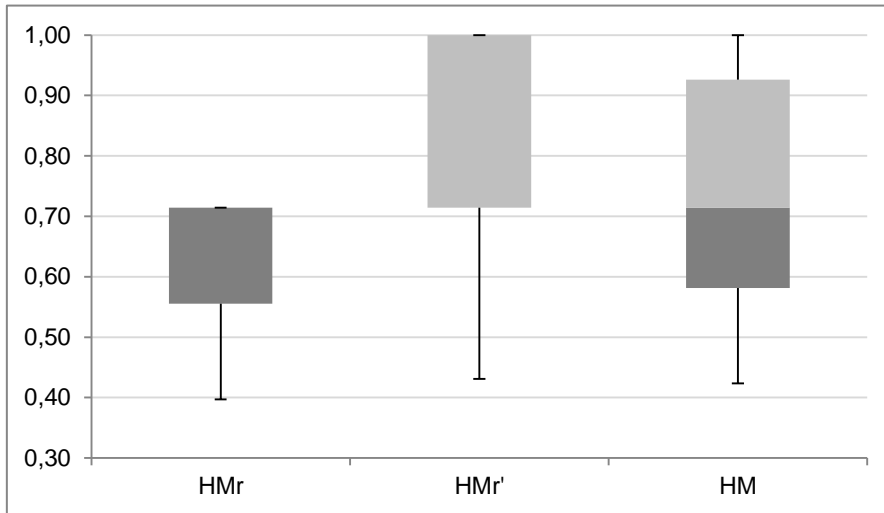
$H_T^{r'} : \{H_{1,T}^{r'}, H_{2,T}^{r'}, H_{3,T}^{r'}\}$ , un sistema de clasificación aplicado sobre  $H_T$ ;  $H_T^{r'} \subseteq H_T$ ; cuya relación de pertenencia a  $H_{i,T}^{r'}$  es de similitud de los valores del atributo H; en concreto, la relación de pertenencia propuesta es la siguiente:

Sea el conjunto  $H_{i,T}^{r'} : \{H_{i,T} \in [H_{i,T}^{r'min}, H_{i,T}^{r'max}[ \}$ , y sea  $H'_T = \{H_T, \leq\}$ , el conjunto ordenado de valores de H, y por tanto,  $H'_{1,T}$  el valor mínimo del conjunto  $H_T$ , y  $H'_{N,T}$  el valor máximo; entonces, el rango de pertenencia se define como:

$$H_{1,T}^{r'min} = H'_{1,T} \quad \text{y} \quad H_{i,T}^{r'min} = H_{i-1,T}^{r'min} + \frac{H'_{N,T} - H'_{1,T}}{3};$$

$$H_{N,T}^{r'max} = H'_{N,T} \quad \text{y} \quad H_{i,T}^{r'max} = H_{i+1,T}^{r'min};$$

Dado que la nueva reducción propuesta Hr' define las clases en rangos uniformes cubriendo todo el dominio de la variable, puede ser una mejor aproximación para este caso. Si comparamos las distribuciones de valores del multiplicador HM, resultantes de las reducciones Hr y Hr', se percibe que ambas reducciones consideradas fuertes alteran significativamente la distribución de valores HM; aun así, la nueva reducción propuesta tiene una mejor distribución como se observa en la **figura 7.21**.



**Figura 7.21.** Distribuciones de valores del multiplicador HM con la aplicación de las reducciones HMr y HMr', comparados con la distribución de valores de HM originales.

El resultado de aplicar el modelo VLI sobre la nueva reducción Hr' (**tabla 7.18**) se obtiene un valor VLI = 2,57, siendo una aproximación de bastante calidad, considerando que la dimensión de H se ha reducido de  $\epsilon(H) = 40$  a  $\epsilon(Hr') = 3$ .

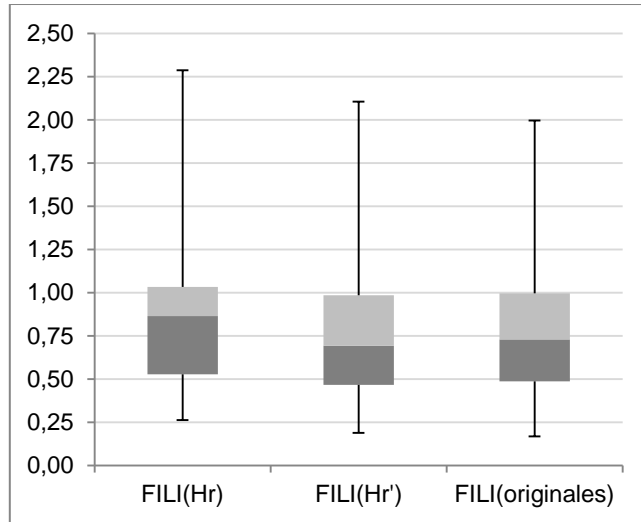
Nº subtareas virtuales:		323					
Parámetros		L	VM	HM	AM	DM	CM
Media (σ)		8,27 (2,88)	0,881 (0,076)	0,74 (0,178)	0,872 (0,056)	0,921 (0,057)	0,9 (0)
Valores diferentes		10	26	3	50	91	1
FILI		Llmax		2,476			
Min	0,188	Sum1	Sum2	Sum3	Sum4	Sum5	
Max	2,105	0,022	0,026	0,018	0,015	0,010	
Media	0,771					VLI =	2,57
(σ)	(0,385)						

**Tabla 7.18.** Resumen de los resultados de aplicación del modelo VLI sobre la reducción Hr'.

Analizando las distribuciones de los valores FILI para cada reducción, se percibe cómo los valores FILI extremos se alteran significativamente más con la reducción Hr, que con la reducción Hr' (**figura 7.22**).

Es evidente que parte de los subtareas de valores FILI mayores, se realizan en condiciones óptimas del atributo H, es decir, su valor FILI alto viene originado por los otros atributos posturales.

En esos casos, tal y como se ha argumentado, la reducción Hr genera una sobrestimación, en comparación con la nueva reducción Hr'.



**Figura 7.22.** Distribuciones de los valores FILI para las reducciones Hr y Hr' en comparación con los valores FILI sin reducir.

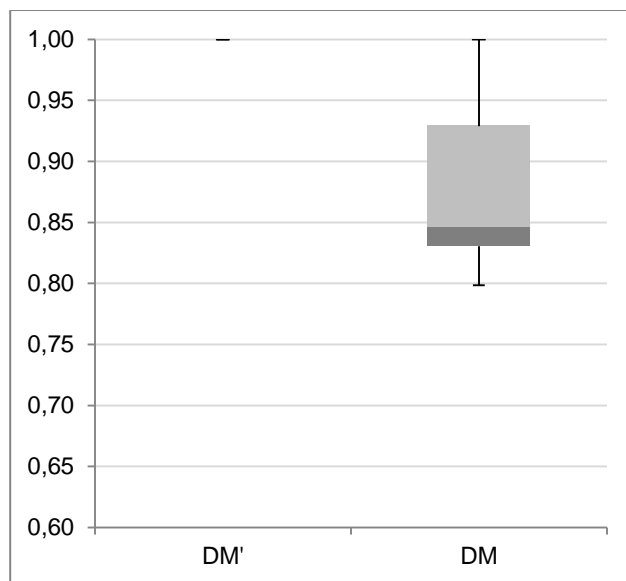
## Reducción del atributo D

Debido a la acotada contribución del atributo D en la valoración del riesgo, la reducción propuesta para este atributo lo convierte en constante.

En este caso se tiene que  $\varphi(D) = 122$ ; la aplicación de la reducción D' al atributo D disminuye su dimensionalidad a  $\varphi(D') = 1$ .

El resultado sobre el multiplicador es una constante,  $DM' = 1$  (**figura 7.23**). Lógicamente, se espera un efecto de subvaloración de aplicar este sistema reductor.

El valor VLI resultante sobre el espacio reducido D' es 2,35. Efectivamente, se obtiene un valor inferior al obtenido sin la reducción, pero la subvaloración realizada es pequeña respecto a su capacidad reductora de la dimensión de D, transformándola de 122 a 1.

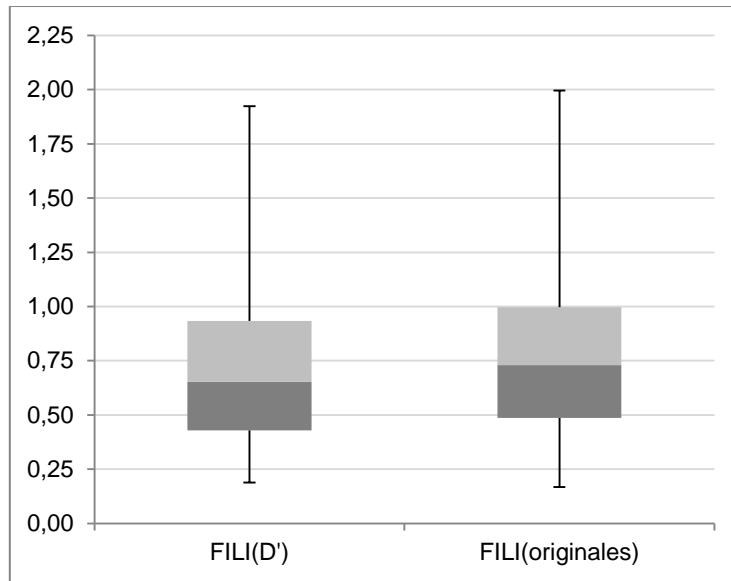


**Figura 7.23.** Distribución de los valores del multiplicador DM aplicando la reducción D', comparado a su distribución sin reducirlo.

Nº subtareas virtuales:	322					
Parámetros	L	VM	HM	AM	DM	CM
Media ( $\sigma$ )	8,27 (2,88)	0,881 (0,076)	0,741 (0,181)	0,872 (0,056)	1 (0)	0,9 (0)
Valores diferentes	10	26	35	50	1	1
<b>FILI</b>		<b>Llmax</b>	2,263			
Min	0,188	<b>Sum1</b>	<b>Sum2</b>	<b>Sum3</b>	<b>Sum4</b>	<b>Sum5</b>
Max	1,924	0,019	0,023	0,018	0,013	0,009
Media ( $\sigma$ )	0,709 (0,35)				<b>VLI =</b>	<b>2,35</b>

**Tabla 7.19.** Resumen de resultados de aplicación del modelo VLI sobre la reducción D'.

La explicación de la ligera subvaloración obtenida se deriva del análisis de los valores FILI. Como se aprecia en la **figura 7.24**, la subvaloración viene determinada por una ligera disminución de los valores FILI extremos superiores, permaneciendo el resto de la distribución prácticamente inalterada. Como se argumentó en la exposición teórica de este sistema de reducción, en los casos de alta variabilidad, la probabilidad de subvalorar subtareas aplicando D' es menor al 60%.



**Figura 7.24.** Distribución de valores FILI obtenidos tras la aplicación de la reducción D' comparado a la distribución de los valores sin la reducción.

## Reducción del atributo A

La reducción del atributo A, tal y como se ha propuesto, es un sistema de clasificación de A de dos clases, por lo que  $\mathcal{C}(Ar) \leq 2$ .

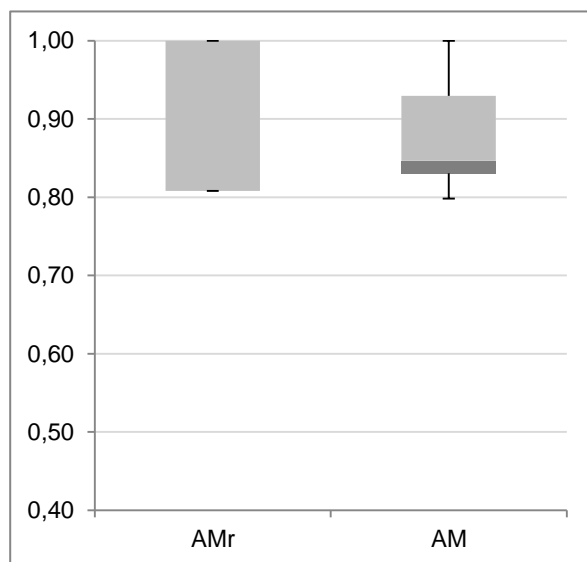
En este caso, el resultado de la reducción genera  $\mathcal{C}(Ar) = 2 < \mathcal{C}(A) = 50$ , reduciendo enormemente la dimensión del atributo A.

Las dos clases resultantes  $Ar_0$  y  $Ar_1$  clasifican al 34,9% y 65,1% de las subtareas respectivamente. Recordemos que el valor que limita ambas clases es  $45^\circ$ . De estos datos se puede derivar que en el 65,1% de los levantamientos, se realiza un ángulo de asimetría significativo ( $\geq 45^\circ$ ).

El valor representativo que se asigna a cada clase es  $0^\circ$  y  $60^\circ$ , generando dos valores del multiplicador AM, 1 y 0,808, respectivamente.

En este caso, el 33,6% de los levantamientos, que pertenecen a  $Ar_0$ , se subvaloran al ser  $A > 0^\circ$ ; el 63% de los levantamientos, que pertenecen a  $Ar_1$ , se sobrevaloran, siendo  $45^\circ \leq A < 60^\circ$ . Se puede afirmar en este caso que, la subvaloración y la sobrevaloración de esta reducción no están compensadas, y su tendencia es a sobrevalorar el atributo A, tal y como se muestra en la **figura 7.25**.

De todas formas, sólo el 2,2% de los levantamientos supera los 60°, por lo que los extremos de la distribución de los valores del atributo A no se ven alterados al aplicar la reducción Ar.



**Figura 7.25.** Distribuciones de los valores del multiplicador AM al resultado de la reducción Ar en comparación con los valores sin reducir el atributo A.

El resultado que se obtiene de aplicar el modelo VLI es 2,42. Dicho valor, bastante ajustado al obtenido con los datos originales sin reducciones, no plasma la sobrevaloración que sufre el atributo Ar, respecto a A.

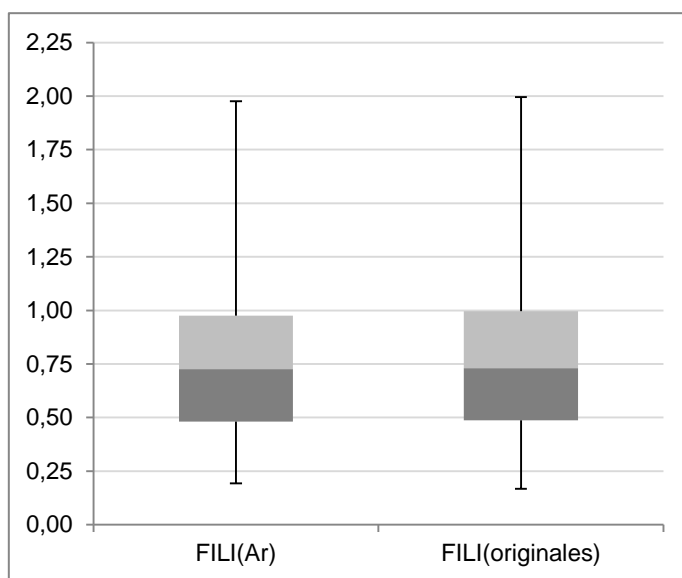
Nº subtareas virtuales:		318					
Parámetros		L	VM	HM	AM	DM	CM
Media (σ)		8,27 (2,88)	0,881 (0,076)	0,741 (0,181)	0,875 (0,092)	0,921 (0,057)	0,9 (0)
Valores diferentes		10	26	35	2	91	1
FILI		Llmax		2,326			
Min	0,193	Sum1	Sum2	Sum3	Sum4	Sum5	
Max	1,977	0,022	0,025	0,020	0,014	0,009	
Media (σ)	0,761 (0,362)				VLI =	2,42	

**Tabla 7.20.** Resultados de la aplicación del modelo VLI al resultado de aplicar la reducción Ar.



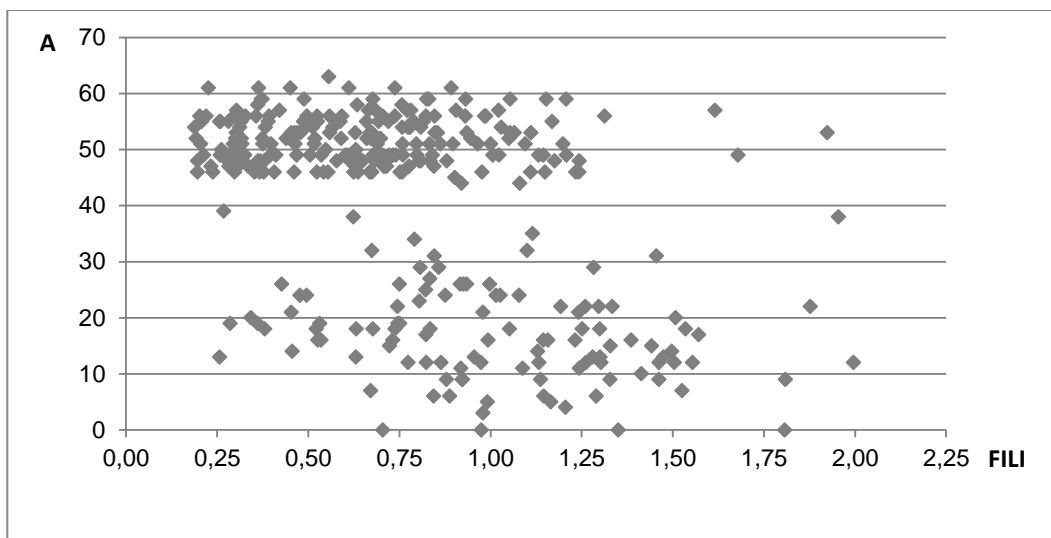
Para explicar el resultado obtenido, es necesario analizar cómo afecta la reducción Ar a la distribución de valores FILI.

En este caso, la alteración de la distribución de valores FILI tras la aplicación de la reducción Ar, en comparación con los valores FILI originales, sin aplicar reducciones, es mínima. Se produce una muy ligera disminución de los valores FILI mayores, que origina que el valor final de VLI obtenido, sea ligeramente inferior.



**Figura 7.26.** Distribuciones de los valores FILI resultantes de la reducción Ar y originales sin reducir.

Como se muestra en la **figura 7.27**, siete de los diez valores mayores de FILI tienen asociados valores de  $A < 45^\circ$ , es decir, su nivel de exigencia está provocado por otros atributos; la mayor densidad de casos con valores  $A > 45^\circ$  se produce para valores de FILI medio-bajos.



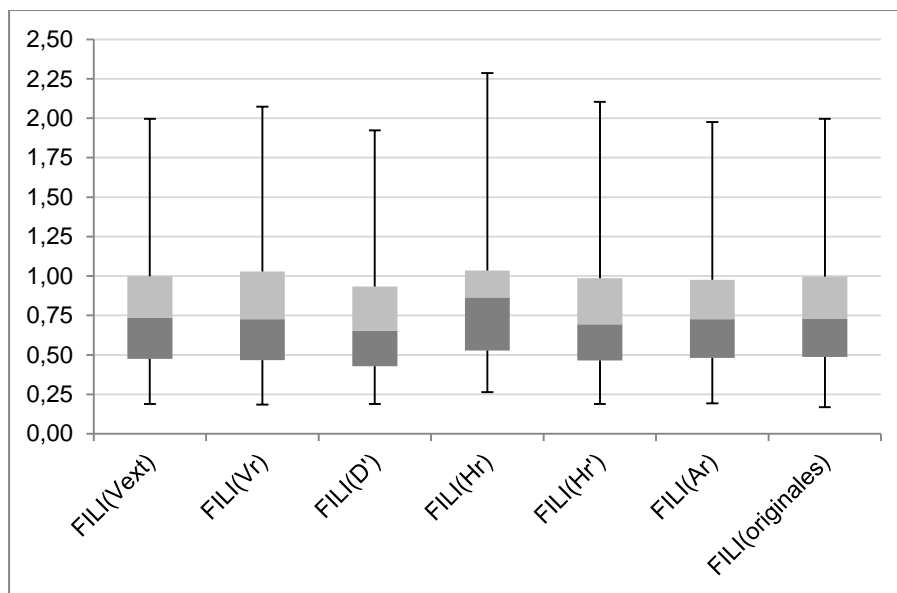
**Figura 7.27.** Dispersión de los valores del atributo A según los valores de FILI.

Esta persona trabajadora, ante requerimientos exigentes, ya sea por la altura de agarre de la carga, la distancia horizontal al cuerpo o el peso levantado, minimiza la asimetría realizada. Este hecho, convierte a Ar en un reductor de alta calidad, con una gran capacidad reductora, reduciendo la dimensión del atributo de 50 a 2, y una alta calidad del resultado final obtenido, con una diferencia de relativa de 1% en el VLI.

## Reducción múltiple de los atributos

A partir de los resultados obtenidos en el apartado anterior, es posible afirmar que, en general, los reductores propuestos para cada atributo se comportan de forma adecuada; el resultado de su aplicación es una reducción significativa de la dimensión del atributo, con una mínima pérdida de información para la caracterización de la exposición al riesgo.

Tal y como se muestra en la **figura 7.28**, el único reductor que altera más de un 10% la caracterización de la exposición es la reducción del atributo Hr. Esta desviación ha quedado disminuida con la nueva propuesta de reducción Hr'.



**Figura 7.28.** Distribuciones de los valores FILI de la aplicación de los reductores a los atributos posturales de forma individual.

Como resultado, se obtienen unas reducciones superiores al 90% en la dimensión de cada atributo, con un error relativo no superior al 5% sobre el valor de VLI.

Debido a la alta variabilidad del problema, donde la dimensión de cada atributo es alta, la reducción de un atributo tiene un efecto despreciable sobre la reducción de la dimensionalidad del problema, es decir, sobre el número de subtareas a analizar.

Los valores de la capacidad reductora total sobre la dimensionalidad del problema, aplicados de forma individual (**tabla 7.21**), están comprendidos entre el 0% y el 2%.

Por este motivo, parece necesario analizar la aplicabilidad de varios reductores simultáneamente sobre la caracterización del problema.

Este análisis se realizará mediante la aplicación incremental de los reductores de cada uno de los atributos. Recordemos que todos los escenarios se construyen sobre el resultado de la aplicación del reductor Lext.

	Dimensión atributo original	Dimensión atributo reducido	Capacidad reductora parcial	VLI	Diferencia relativa	Nº subtare- as virtuales	Capacidad reductora total
<b>Vext</b>	33	17	48,5%	2,44	0%	324	0%
<b>Vr</b>	33	2	93,9%	2,53	4%	324	0%
<b>D'</b>	122	1	99,2%	2,35	-4%	322	1%
<b>Hr'</b>	40	3	92,5%	2,57	5%	323	0%
<b>Ar</b>	50	2	96,0%	2,42	-1%	318	2%
<b>Originales</b>				<b>2,44</b>		<b>324</b>	

**Tabla 7.21.** Indicadores de calidad de los reductores de cada atributo.

El resultado de aplicar los reductores Vr y D' sobre los atributos V y D, respectivamente, es VLI = 2,40. Debido a que la reducción Vr sobrevalora ligeramente el atributo V, y la reducción D' subvalora ligeramente el atributo D, el resultado de aplicar ambas reducciones está bastante ajustado.

Nº subtareas virtuales:	317					
<b>Parámetros</b>	<b>L</b>	<b>VM</b>	<b>HM</b>	<b>AM</b>	<b>DM</b>	<b>CM</b>
Media ( $\sigma$ )	8,27 (2,88)	0,899 (0,112)	0,741 (0,181)	0,872 (0,056)	1 (0)	0,9 (0)
Valores diferentes	10	2	35	50	1	1
<b>FILI</b>		<b>Lmax</b>	2,316			
Min	0,184	<b>Sum1</b>	<b>Sum2</b>	<b>Sum3</b>	<b>Sum4</b>	<b>Sum5</b>
Max	1,968	0,020	0,023	0,016	0,013	0,008
Media ( $\sigma$ )	0,703 (0,359)				<b>VLI =</b>	<b>2,40</b>

**Tabla 7.22.** Resumen de resultados de la aplicación del modelo VLI al espacio reducido por Vr y D'.

De todas formas, la reducción total del problema sigue siendo de nivel bajo, pasando de 324 subtareas a 317 subtareas virtuales.

Sobre este nuevo escenario de análisis, si se aplica la reducción Hr', se obtienen 259 subtareas, con un índice de levantamiento VLI = 2,44.

Nº subtareas virtuales:	259					
<b>Parámetros</b>	<b>L</b>	<b>VM</b>	<b>HM</b>	<b>AM</b>	<b>DM</b>	<b>CM</b>
Media ( $\sigma$ )	8,27 (2,88)	0,899 (0,112)	0,74 (0,178)	0,872 (0,056)	1 (0)	0,9 (0)
Valores diferentes	10	2	3	50	1	1
<b>FILI</b>		<b>Llmax</b>	2,356			
Min	0,182	<b>Sum1</b>	<b>Sum2</b>	<b>Sum3</b>	<b>Sum4</b>	<b>Sum5</b>
Max	2,003	0,019	0,022	0,019	0,012	0,009
Media ( $\sigma$ )	0,71 (0,372)				<b>VLI =</b>	<b>2,44</b>

**Tabla 7.23.** Resumen de resultados de la aplicación del modelo VLI al espacio reducido por Vr, D' y Hr'.

Con un ajuste perfecto, la capacidad reductora total de estos tres reductores aún no es significativa.

A continuación, se aplica la reducción Ar del atributo A. El resultado obtenido, ligeramente sobrevalorado, es VLI = 2,50, consiguiendo una reducción total de la dimensionalidad del problema significativa, caracterizado por 57 subtareas virtuales.

Nº subtareas virtuales:	57					
<b>Parámetros</b>	<b>L</b>	<b>VM</b>	<b>HM</b>	<b>AM</b>	<b>DM</b>	<b>CM</b>
Media ( $\sigma$ )	8,27 (2,88)	0,899 (0,112)	0,74 (0,178)	0,875 (0,092)	1 (0)	0,9 (0)
Valores diferentes	10	2	3	2	1	1
<b>FILI</b>		<b>Llmax</b>	2,421			
Min	0,193	<b>Sum1</b>	<b>Sum2</b>	<b>Sum3</b>	<b>Sum4</b>	<b>Sum5</b>
Max	2,058	0,017	0,023	0,020	0,009	0,011
Media ( $\sigma$ )	0,726 (0,388)				<b>VLI =</b>	<b>2,50</b>

**Tabla 7.24.** Resumen de resultados de la aplicación del modelo VLI al espacio reducido por Vr, D', Hr' y Ar.

Por último, a este resultado se le aplica el doble reductor Lint sobre el atributo L. Recordemos que esta reducción reducía el peso levantado en las subtareas asociadas a valores FILI mayores, por lo que la subvaloración era significativa (VLI = 2,11).

El resultado de aplicar el reductor Lint al espacio reducido por los cuatro reductores anteriores es VLI = 2,17, comportando una subvaloración del 11,1%, pero a cambio, se consigue una reducción total del problema a 31 subtareas virtuales.

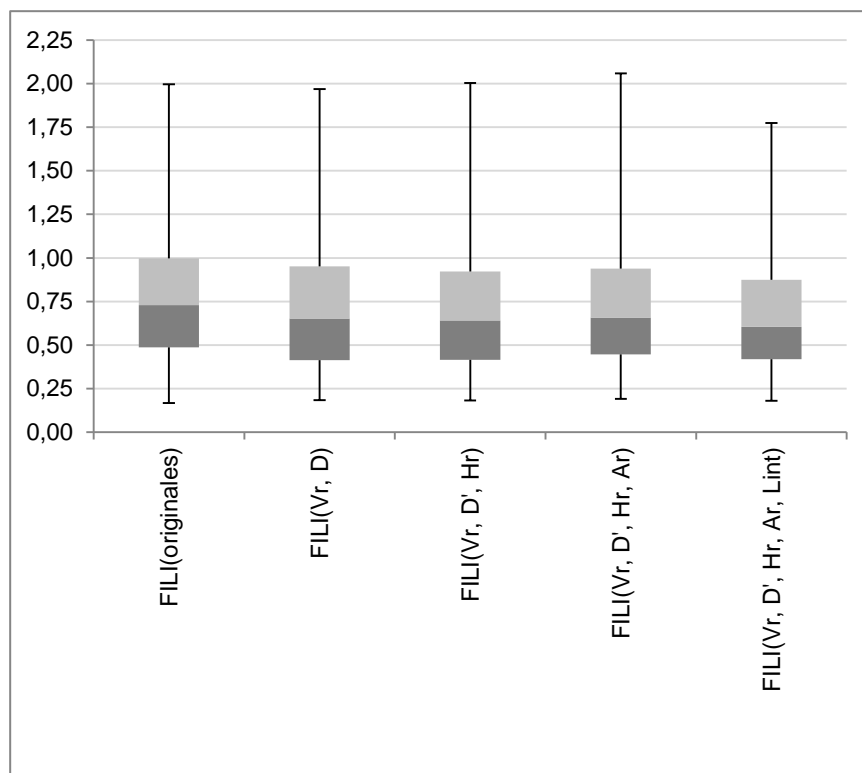
Nº subtareas virtuales:	31					
<b>Parámetros</b>	<b>L</b>	<b>VM</b>	<b>HM</b>	<b>AM</b>	<b>DM</b>	<b>CM</b>
Media ( $\sigma$ )	8,27 (2,78)	0,899 (0,112)	0,74 (0,178)	0,875 (0,092)	1 (0)	0,9 (0)
Valores diferentes	5	2	3	2	1	1

	<b>FILI</b>	<b>Llmax</b>	2,087			
Min	0,181	<b>Sum1</b>	<b>Sum2</b>	<b>Sum3</b>	<b>Sum4</b>	<b>Sum5</b>
Max	1,774	0,037	0,019	0,010	0,008	0,010
Media ( $\sigma$ )	0,664 (0,364)				<b>VLI =</b>	<b>2,17</b>

**Tabla 7.25.** Resumen de resultados de la aplicación del modelo VLI al espacio reducido por Vr, D', Hr', Ar y Lint.

En la **figura 7.29**, se visualiza la alteración en las distribuciones de los valores FILI para las diferentes combinaciones de reductores aplicados simultáneamente al problema planteado.



**Figura 7.29.** Distribuciones de los valores FILI para reducciones combinadas en diferentes atributos.

En todas las combinaciones de reductores se produce una ligera disminución del 75% de los valores FILI menores. En cambio, los valores mayores extremos FILI, en las combinaciones {Vr, D'} y {Vr, D', Hr', Ar, Lint} se disminuyen, y para las combinaciones {Vr, D', Hr'}, {Vr, D', Hr', Ar} se incrementan.

A partir de los resultados, parece que la aplicación combinada de los reductores Vr, D', Hr' y Ar es la mejor aproximación al problema, con una capacidad reductora total del 82%, simplificando el problema en 57 subtareas virtuales y valorando el índice de levantamiento con un error relativo de sólo el 3%.

	VLI	Diferencia relativa	Nº subtareas	Capacidad reductora total
<b>Vext, Vr, D'</b>	2,40	-1,7%	317	2%
<b>Vext, Vr, D', Hr'</b>	2,44	-0,1%	259	20%
<b>Vext, Vr, D', Hr', Ar</b>	2,50	2,6%	57	82%
<b>Vext, Vr, D', Hr', Ar, Lint</b>	2,17	-10,9%	31	90%
<b>Originales</b>	<b>2,44</b>		<b>324</b>	

**Tabla 7.26.** Indicadores de calidad de la aplicación combinada de diferentes reductores.

## Análisis mediante observación reducida de los atributos

Como procedimiento alternativo para la aplicación del modelo VLI, en el capítulo §6 se ha definido y desarrollado el procedimiento de observación reducida.

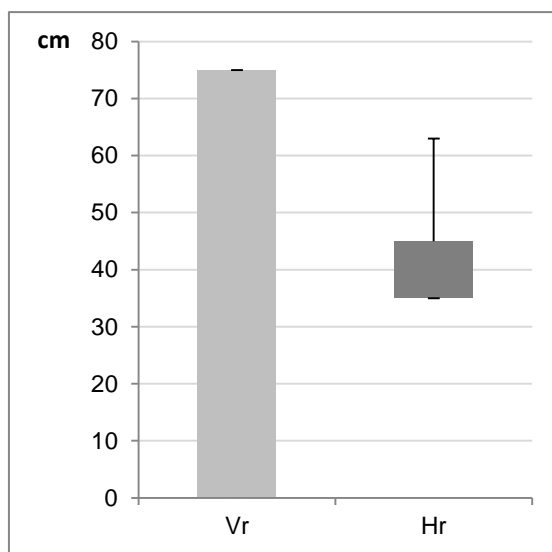
El objetivo de este procedimiento es determinar, mediante la observación y la medición, las subtareas virtuales directamente, sin necesidad de extraerlas de las subtareas reales. Al aplicar este procedimiento al caso, el registro de los atributos que caracterizan la actividad de levantamientos manuales de cargas se realiza sobre los atributos ya reducidos.

El atributo L es el único que se le aplica una segunda reducción después del registro. Este atributo se registra sobre el espacio reducido por Lext, para posteriormente aplicar la reducción Lint, con un parámetro P=5. Como resultado, se han construido 5 categorías de peso sobre las que se continúa con el registro de los otros atributos.

Categoría de pesos			Nº objetos	Peso medio ponderado (Kg)	% objetos levantados
	desde	hasta			
Lint <sub>1</sub>	3,5	5,3	70	4,1	21,6%
Lint <sub>2</sub>	5,3	7,1	44	6	13,6%
Lint <sub>3</sub>	7,1	8,9	45	7,8	13,9%
Lint <sub>4</sub>	8,9	10,7	120	10,3	37,0%
Lint <sub>5</sub>	10,7	12,5	45	12,2	13,9%

**Tabla 7.27.** Resultados de la aplicación de la reducción Lint al caso.

El atributo H ya reducido como Hr, dirige el registro a identificar en qué casos se realiza un levantamiento con un valor de Hr en los tres rangos de valores fijos ya definidos anteriormente. Los valores que representan tales rangos son 35, 45 y 60 cm, tal y como se muestra en la **figura 7.30**.

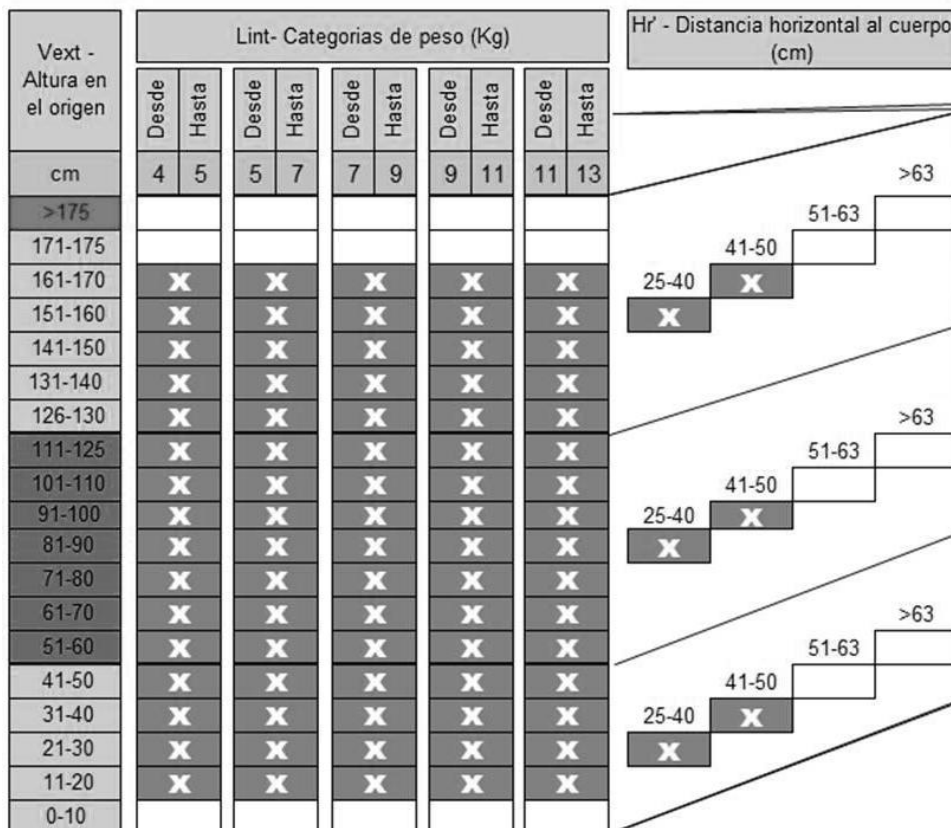


**Figura 7.30.** Distribución de los valores de los atributos V y H en una observación reducida del caso.

Sobre el atributo V (**figuras 7.31 y 7.32**), ya reducido como Vr, dirige el registro a identificar en qué casos de cada categoría de peso se realiza un levantamiento a un valor de Vr en dos rangos de valores fijos, el que representa una altura correcta y el que representa una altura incorrecta, ya sea por una altura excesiva-



mente alta o una altura excesivamente baja. Los valores que representan estos rangos son 0 y 75 cm.



**Figura 7.31.** Registro de observación reducida de los atributos Vext y Hr del origen de los levantamientos del caso.

El atributo A (**figura 7.33**) se registra mediante un muestreo de levantamientos para cada categoría de peso, que permita aplicar valorar la reducción  $Ar'$ , según la presencia predominante de valores  $A_0$  o  $A_1$ , y asignar finalmente un valor constante a este atributo. En este caso, la predominancia para todas las categorías de peso son los valores pertenecientes a  $A_1$ , por lo que todas las categorías de peso tienen asociado un valor constante del atributo  $Ar' = 60^\circ$ .

Vext - Altura en el destino	Lint - Categorías de peso (Kg)										Hr - Distancia horizontal al cuerpo (cm)
	Desde	Hasta	Desde	Hasta	Desde	Hasta	Desde	Hasta	Desde	Hasta	
cm	4	5	5	7	7	9	9	11	11	13	
>175											>63
171-175											51-63
161-170	X		X		X		X		X		41-50
151-160	X		X		X		X		X		25-40
141-150	X		X		X		X		X		
131-140	X		X		X		X		X		
126-130	X		X		X		X		X		
111-125	X		X		X		X		X		>63
101-110	X		X		X		X		X		51-63
91-100	X		X		X		X		X		41-50
81-90	X		X		X		X		X		25-40
71-80	X		X								
61-70	X		X								
51-60	X		X								>63
41-50	X		X								51-63
31-40	X		X								41-50
21-30	X		X								25-40
11-20											
0-10											

Figura 7.32. Registro de observación reducida de los atributos Vext y Hr del destino de los levantamientos del caso.

Asimetría	Lint - Categorías de peso (Kg)									
	Desde	Hasta	Desde	Hasta	Desde	Hasta	Desde	Hasta	Desde	Hasta
Grados	4	5	5	7	7	9	9	11	11	13
Más del 50% > 45°	X		X		X		X		X	
Más de 135°										

Figura 7.33. Registro de observación reducida del atributo Ar' de los levantamientos del caso.

El resultado esperable de aplicar la observación reducida es  $N'_T \leq 30$ . En este caso, se identifican 25 subtareas virtuales, 5 subtareas asociadas a cada categoría de peso. En la siguiente tabla se indican los parámetros que definen cada sub-tarea virtual resultante.

Lint (kg)	L representa- tivo (kg)	Nº objetos total por categoría de peso	Vext (cm)	Hr (cm)	% de objetos para cada geometría	Ar'	Frec. (lev/min)
desde 3,5 hasta 5,3	Frecuencia	0,204	0-50 o 126-175(0)	25-40 (35)	21,9%	x	0,045
			nº alturas	41-50 (45)	21,9%		0,045
			17	51-63 (63)	11,0%		0,022
			51-125(75)	25-40 (35)	22,6%		0,046
			nº alturas	41-50 (45)	22,6%		0,046
			14	51-63 (63)			
desde 5,3 hasta 7,1	Frecuencia	0,128	0-50 o 126-175(0)	25-40 (35)	21,9%	x	0,028
			nº alturas	41-50 (45)	21,9%		0,028
			17	51-63 (63)	11,0%		0,014
			51-125(75)	25-40 (35)	22,6%		0,029
			nº alturas	41-50 (45)	22,6%		0,029
			14	51-63 (63)			
desde 7,1 hasta 8,9	Frecuencia	0,131	0-50 o 126-175(0)	25-40 (35)	22,4%	x	0,029
			nº alturas	41-50 (45)	22,4%		0,029
			5	51-63 (63)	11,2%		0,015
			51-125(75)	25-40 (35)	22,0%		0,029
			nº alturas	41-50 (45)	22,0%		0,029
			4	51-63 (63)			
desde 8,9 hasta 10,7	Frecuencia	0,350	0-50 o 126-175(0)	25-40 (35)	22,4%	x	0,078
			nº alturas	41-50 (45)	22,4%		0,078
			14	51-63 (63)	11,2%		0,039
			51-125(75)	25-40 (35)	22,0%		0,077
			nº alturas	41-50 (45)	22,0%		0,077
			11	51-63 (63)			
desde 10,7 hasta 12,5	Frecuencia	0,131	0-50 o 126-175(0)	25-40 (35)	22,4%	x	0,029
			nº alturas	41-50 (45)	22,4%		0,029
			14	51-63 (63)	11,2%		0,015
			51-125(75)	25-40 (35)	22,0%		0,029
			nº alturas	41-50 (45)	22,0%		0,029
			11	51-63 (63)			

**Tabla 7.28.** Subtareas virtuales resultantes de la observación reducida del caso.

Este procedimiento ha mostrado una capacidad reductora total del problema analizado del 92%. La aplicación del modelo VLI a las 25 subtareas virtuales resultantes es  $VLI = 2,63$ , con un error relativo de -8%.

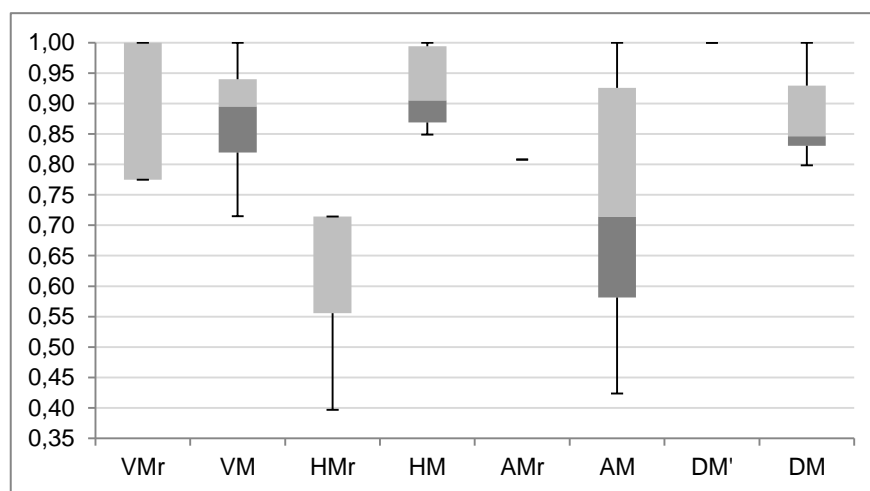
Nº subtareas virtuales:	25					
Parámetros	L	VM	HM	AM	DM	CM
Media ( $\sigma$ )	8,08 (2,96)	0,87 (0,113)	0,59 (0,121)	0,81 (0)	1 (0)	0,9 (0)
Valores diferentes	5	2	3	1	1	1

	FILI	Llmax	2,524			
Min	0,317	Sum1	Sum2	Sum3	Sum4	Sum5
Max	2,146	0,025	0,040	0,016	0,015	0,014
Media ( $\sigma$ )	0,931 (0,45)				VLI =	2,63

**Tabla 7.29.** Resumen de resultados de la aplicación del modelo VLI mediante la observación reducida.

El error relativo obtenido parece aceptable, considerando la reducción obtenida del problema. Comparando las distribuciones de los valores de los diferentes multiplicadores de la observación reducida y de los datos originales sin reducir, medidos de forma precisa, se puede percibir cómo el resultado tan ajustado obtenido es el resultado de una compensación entre las sobrevaloraciones y las subvaloraciones realizadas (**figura 7.34**).



**Figura 7.34.** Distribuciones de los valores de los multiplicadores de la observación reducida comparados con sus valores medidos de forma precisa.

Los valores del multiplicador HMr están sobrevalorados respecto a los valores de HM; mientras que el valor asignado al multiplicador DM' subvalora este atributo respecto a los valores del multiplicador DM sin reducir.

Es evidente que el parámetro HMr es el que ha sufrido mayor alteración en su distribución de valores debido a la reducción Hr. Anteriormente, se ha propuesto la reducción Hr' que mejora la calidad de los resultados. La aplicación de la reducción Hr' en el procedimiento de observación reducida supone, mediante un muestreo, identificar los valores extremos, mínimo y máximo, del atributo H.

Supongamos que, en este caso, se identifican los valores extremos del atributo H, 22 y 62 cm. Efectivamente, el reductor Hr' propuesto para representar de forma más eficiente la distribución de valores del atributo H obtiene un valor mucho más preciso de VLI = 2,42 (**tabla 7.30**).

Las subtareas virtuales resultantes de la aplicación del procedimiento de observación reducida es el indicado en la **tabla 7.31**.

Nº subtareas virtuales:		25					
Parámetros		L	VM	HM	AM	DM	CM
Media (σ)		8,08 (2,96)	0,87 (0,113)	0,77 (0,217)	0,81 (0)	1 (0)	0,9 (0)
Valores diferentes		5	2	3	1	1	1
FILI		Llmax		2,342			
Min	0,225	Sum1	Sum2	Sum3	Sum4	Sum5	
Max	1,991	0,020	0,022	0,018	0,011	0,010	
Media (σ)	0,749 (0,43)			VLI =		2,42	

**Tabla 7.30.** Resumen de resultados de la aplicación del modelo VLI mediante la observación reducida, utilizando el reductor Hr'.

Esta modificación del procedimiento de observación reducida conserva la capacidad reductora total del problema del 92% y disminuye el error relativo sobre el valor de VLI resultante de -8% a -0,8%.

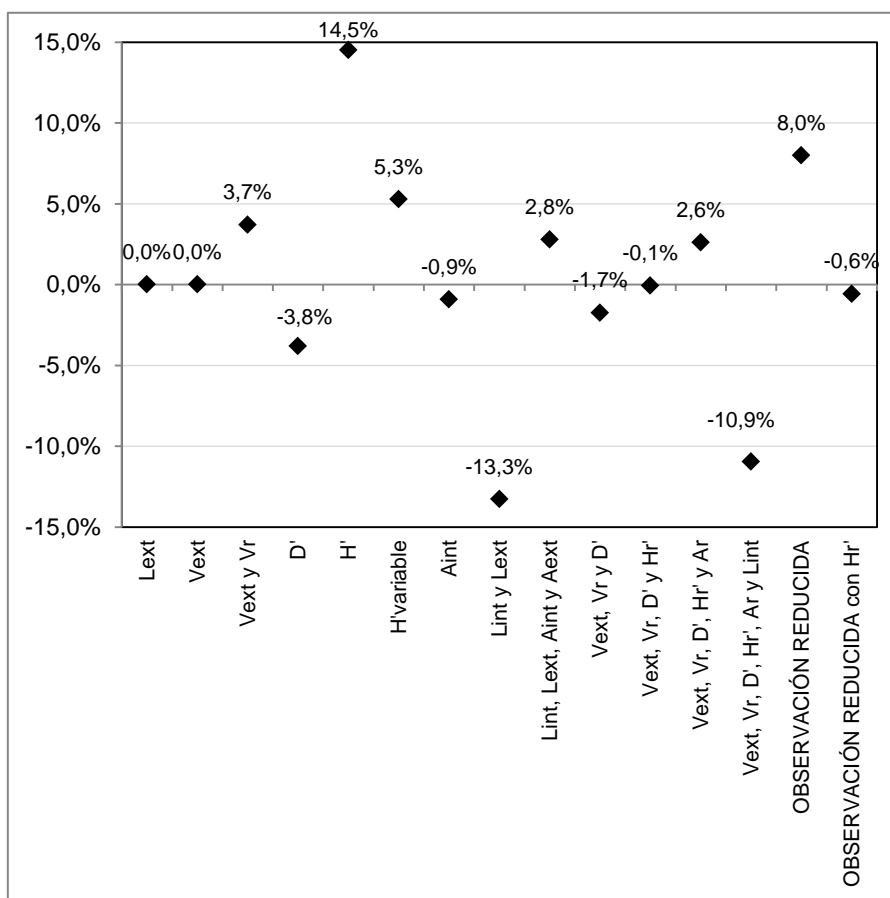
Lint (kg)	L representa- tivo (kg)	Nº obje- tos total por categoría de peso	Vext (cm)	Hr' (cm)	% de objetos para cada geometría	Ar'	Frecuencia (lev/min)
desde 3,5 hasta 5,3	4,1	70	0-50 o 126-175(0)	15-27,5 (20,2)	21,9%	x	0,045
	Frecuencia	0,204	nº alturas	27,5-46 (35)	21,9%		0,045
			17	47-63 (58)	11,0%		0,022
			51-125(75)	15-27,5 (20,2)	22,6%		0,046
			nº alturas	27,5-46 (35)	22,6%		0,046
			14	47-63 (58)			
desde 5,3 hasta 7,1	6,0	44	0-50 o 126-175(0)	15-27,5 (20,2)	21,9%	x	0,028
	Frecuencia	0,128	nº alturas	27,5-46 (35)	21,9%		0,028
			17	47-63 (58)	11,0%		0,014
			51-125(75)	15-27,5 (20,2)	22,6%		0,029
			nº alturas	27,5-46 (35)	22,6%		0,029
			14	47-63 (58)			
desde 7,1 hasta 8,9	7,8	45	0-50 o 126-175(0)	15-27,5 (20,2)	22,4%	x	0,029
	Frecuencia	0,131	nº alturas	27,5-46 (35)	22,4%		0,029
			5	47-63 (58)	11,2%		0,015
			51-125(75)	15-27,5 (20,2)	22,0%		0,029
			nº alturas	27,5-46 (35)	22,0%		0,029
			4	47-63 (58)			
desde 8,9 hasta 10,7	10,3	120	0-50 o 126-175(0)	15-27,5 (20,2)	22,4%	x	0,078
	Frecuencia	0,350	nº alturas	27,5-46 (35)	22,4%		0,078
			14	47-63 (58)	11,2%		0,039
			51-125(75)	15-27,5 (20,2)	22,0%		0,077
			nº alturas	27,5-46 (35)	22,0%		0,077
			11	47-63 (58)			
desde 10,7 hasta 12,5	12,2	45	0-50 o 126-175(0)	15-27,5 (20,2)	22,4%	x	0,029
	Frecuencia	0,131	nº alturas	27,5-46 (35)	22,4%		0,029
			14	47-63 (58)	11,2%		0,015
			51-125(75)	15-27,5 (20,2)	22,0%		0,029
			nº alturas	27,5-46 (35)	22,0%		0,029
			11	47-63 (58)			

**Tabla 7.31.** Subtareas virtuales resultantes de la observación reducida del caso utilizando la reducción Hr'.

# Discusión y conclusiones

En este apartado se han utilizado las diferentes reducciones propuestas, analizando sus bondades y limitaciones. De forma general, es posible afirmar que las reducciones propuestas han demostrado ser unos instrumentos útiles para simplificar el análisis de casos de levantamientos manuales de cargas de alta variabilidad.

La mayoría de las reducciones propuestas han generado un resultado en la caracterización del nivel de exposición al riesgo bastante aceptable, con un error relativo sobre el valor de VLI menor al 10%.

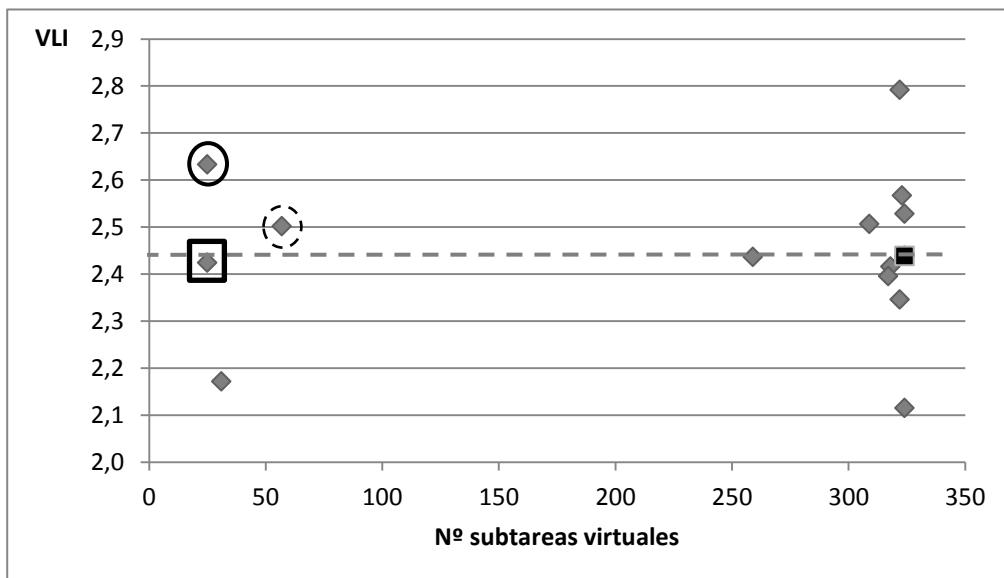


**Figura 7.35.** Error relativo de cada tipo de reducción sobre el valor VLI.

Aunque la precisión en el resultado de aplicar reducciones se considere aceptable, su función principal y, por tanto, su utilidad, radica en su capacidad reductora total, simplificando el problema en un número reducido de subtareas virtuales que contengan la información suficiente para caracterizar el nivel de exposición al riesgo.

En la **figura 7.36** se ha representado el valor VLI obtenido en cada escenario, respecto al número de subtareas virtuales a las que se ha reducido el problema. Siendo el punto cuadrado la representación de la aplicación del modelo VLI sobre los datos originales, sin reducir, se han señalado los puntos de los tres escenarios que han obtenido una reducción substancial del problema con un menor error en el resultado.

Estos tres escenarios son los resultados obtenidos con la reducción combinada (Vext, Vr, D', Hr', Ar), señalado con un círculo discontinuo; los resultados obtenidos con la observación reducida, señalado con un círculo continuo; y los resultados obtenidos con la observación reducida utilizando el reductor Hr', señalado con un recuadro.

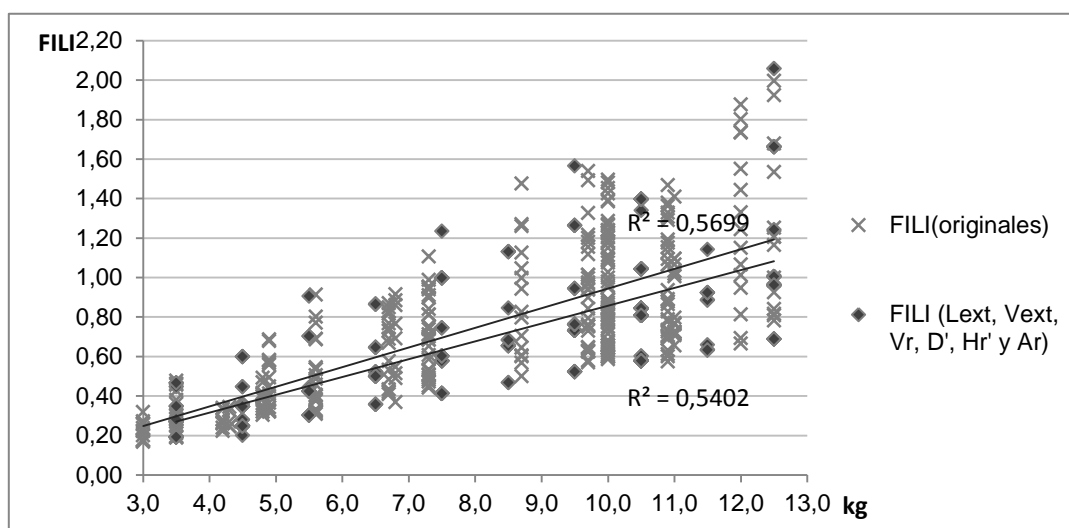


**Figura 7.36.** Dispersión de las reducciones según el valor VLI obtenido y número de subtareas virtuales a las que han reducido el problema.



La reducción combinada (Vext, Vr, D', Hr', Ar) es el mejor modelo de análisis de un conjunto de datos medidos de forma precisa, en base a los indicadores de calidad. Recordemos que todas las reducciones combinadas, incluido ésta, incorporan la reducción Lext.

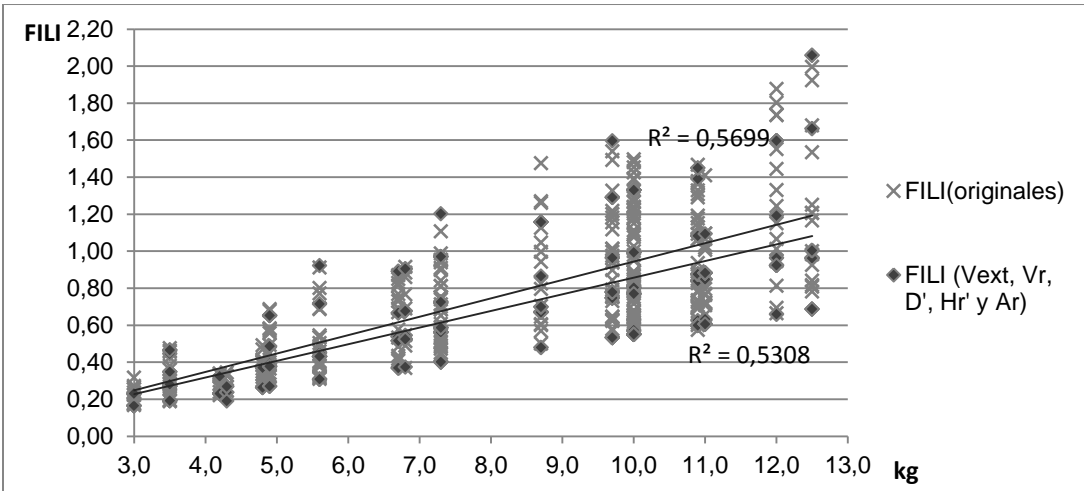
Si observamos la **figura 7.37**, donde se grafican los valores FILI respecto al peso, tanto para esta reducción como para los datos originales, se percibe cómo los 57 puntos (subtareas virtuales) representan bastante bien la distribución de las 324 subtareas reales para casi todos los pesos levantados.



**Figura 7.37.** Dispersión de los valores FILI respecto al peso levantado para la reducción (Lext, Vext, Vr, D', Hr', Ar) y para los datos originales.

Debido al desplazamiento de 0,5kg que sufren algunos de los pesos levantados por el efecto de la reducción Lext, en la **figura 7.38**, se ilustra el mismo tipo de gráfica sin aplicar la reducción Lext en la reducción combinada.

En ambos escenarios de análisis se conserva la influencia lineal del peso sobre la distribución de valores FILI con una diferencia mínima en la pendiente y en la varianza explicada.



**Figura 7.38.** Dispersión de valores FILI respecto al peso levantado para la reducción (Vext, Vr, D', Hr', Ar), sin reducción de L, y para los datos originales.

Pero por otro lado, se ha planteado y aplicado un procedimiento de análisis basado en la observación reducida del problema. Recordemos que este procedimiento comporta una ventaja práctica substancial respecto a los menores recursos necesarios para caracterizar el problema de la tarea de levantamientos, previo a su análisis.

La observación reducida ha presentado la mayor capacidad reductora total, 92%, aunque con poca diferencia respecto a la capacidad reductora total de la reducción combinada (Vext, Vr, D', Hr', Ar), 82%. En cambio, esta reducción combinada genera un error relativo mucho menor, 2,6%, respecto a la observación reducida, -8%.

Además, los casos donde sea factible identificar los valores extremos mínimo y máximo del atributo H, parece recomendable por su mayor calidad y eficiencia, utilizar el procedimiento de observación reducida con el reductor Hr'. Con este procedimiento, se ha conservado la capacidad reductora de la observación reducida de un 92%, pero se ha disminuido el error relativo del resultado a -0,8%, obteniendo un mejor resultado incluso que el de la reducción combinada (Vext, Vr, D', Hr', Ar).

Parte IV

CONCLUSIONES



# Conclusiones y propuestas

---

## Conclusiones

Para presentar las conclusiones y discusión de este estudio, se hará referencia a las hipótesis de investigación planteadas, y en qué medida el desarrollo de los objetivos específicos de la investigación han podido contrastarlas.

**H1.** El método más utilizado por los expertos y profesionales competentes para la evaluación del riesgo por levantamiento manual de cargas es la ecuación NIOSH revisada.

Tanto la valoración realizada por los expertos y profesionales competentes, como la valoración de los delegados de prevención, confirman esta hipótesis. Este método es el más señalado por los profesionales como la metodología que utilizan para evaluar este tipo de riesgo. El uso extendido es independiente del sector de actividad donde se analiza el riesgo, la formación de grado del experto y sus años de experiencia; sí que depende del tipo de organización donde trabajan, pero en la mayoría de ellos, se usa este método con una probabilidad superior al 0,5. Si además se consideran otros documentos técnicos, técnicos como las normas técnicas EN e ISO, que referencian la ecuación NIOSH revisada como el criterio de evaluación, el uso se extiende al 86% de los profesionales y al 90,4% según los delegados de prevención.

Considerando que, en España, se puede afirmar que más del 60% de las empre-

sas no han realizado las evaluaciones del riesgo por levantamiento manual de cargas, es posible que la demanda y aplicación de un método de evaluación crezca en los próximos años en España,

Además, la actual aceptación de esta metodología de evaluación es posible que siga creciendo en los próximos años, considerando que el grupo de trabajo 4 del subcomité técnico 3 del comité técnico 159 de ISO actualmente está trabajando en un nuevo documento [ISO, 2012b], cuyo marco de referencia para la evaluación del riesgo por levantamiento manual de cargas es la ecuación NIOSH revisada.

**H2.** El método de la ecuación NIOSH revisada tiene actualmente la suficiente validez científica para ser considerado el modelo de referencia para el análisis de la exposición al riesgo por levantamientos manuales de cargas.

Es posible concluir que, la revisión exhaustiva de la literatura científica realizada confirma esta hipótesis. Los principales estudios epidemiológicos realizados en los últimos confirman el mayor nivel de validación de esta metodología, demostrando una relación directa entre el índice de riesgo obtenido y la prevalencia del daño en la población laboral expuesta. Por otro lado, también se confirma su validez respecto a los criterios utilizados para valorar cada una de los atributos que definen un levantamiento.

Es cierto que, la variabilidad en la exposición aún no se ha estudiado de forma precisa, y actualmente se está estudiando la influencia de otros factores, como la técnica de levantamiento utilizada o la experiencia, aún sin conclusiones claras. Los resultados de la presente investigación pueden contribuir al desarrollo de estudios epidemiológicos y causales que ayuden a generar más conocimiento al respecto en los próximos años.

Al fin y al cabo, el objetivo de las investigaciones debe ser entender la causalidad y no se deben aceptar las lógicas de la ergonomía que no se dirijan a comprender esta causalidad [MARRAS, 2005].

**H3.** La exposición al levantamiento manual de cargas en condiciones variables es un requerimiento de trabajo frecuente en la mayoría de las empresas de todos los sectores productivos.

Esta hipótesis ha sido confirmada con la presente investigación, y es posible concluir que en la mayoría de los puestos de trabajo que requieren levantar cargas manualmente, la exposición es altamente variable. Más del 89% de los profesionales que realizan análisis de este requerimiento de trabajo afirman que frecuentemente o siempre, al menos uno de los atributos que definen los levantamientos tiene una alta variabilidad, independientemente del tipo de carga levantada. Por otro lado, más del 63% de los delegados de prevención confirman que los atributos peso y altura de agarre son altamente variables frecuentemente o siempre; cierto que con diferente grado de variabilidad, especialmente la altura, según el sector de actividad.

También se identifica la presencia de variabilidad en la exposición en diversos estudios mencionados, pero se reconoce en todos ellos que el enfoque de análisis utilizado no ha sido totalmente adecuado.

**H4.** Las estrategias de análisis de la exposición al riesgo por levantamientos manuales de cargas utilizadas por los expertos y profesionales competentes en casos de alta variabilidad tienden a subvalorar o sobrevalorar el riesgo.

Se puede afirmar que en esta investigación se ha confirmado dicha hipótesis, en base a varios argumentos.

En primer lugar, se ha demostrado que la práctica más común para determinar la frecuencia de levantamientos es la observación de la actividad durante un periodo de tiempo determinado.

Pocos estudios se han realizado sobre el tiempo de muestreo necesario de observación de la actividad; algunos autores referencian 30 minutos [DALE et al., 2009], NIOSH en su publicación original recomendaba 15 minutos [WATER et al., 1994]. En la literatura se reconoce que esta práctica tiende a subvalorar o sobrevalorar el nivel de riesgo, más cuanto más variable sea la exposición; así, se llega a afirmar incluso que en sectores de actividad como la construcción, la observación de la actividad durante 1 día completo es insuficiente [PAQUET et al., 2005].

Técnicas de mayor precisión, especialmente cuando se utilizan de forma complementaria, contrastando la información de las diversas fuentes, como datos de producción y ventas o preguntando la estimación a la persona trabajadora, se ha

demostrado que son de una práctica poco extensa.

Por otro lado, respecto al análisis de los otros atributos que caracterizan los levantamientos, se ha demostrado que actualmente, la práctica más extendida es valorar una situación como la más penosa y realizar la evaluación sobre ella. Es evidente que el periodo de observación sesgará la identificación de la situación más penosa. Además, esta evaluación sobrevalora el riesgo si se considera que esa exposición es constante en el tiempo, y subvalora el riesgo si se considera que únicamente se está expuesto a esa situación, como ya se demostró en la publicación original del NIOSH al proponer el modelo CLI [WATERS et al., 1994], y ampliamente reconocido en la literatura como se ha demostrado.

**H5.** El modelo de la ecuación NIOSH revisada para el análisis de riesgo por levantamiento manual de cargas es altamente impreciso para el análisis de casos de alta variabilidad.

Tanto la revisión de la literatura (capítulo §2), como el análisis de limitaciones realizado en el capítulo §3, confirman esta hipótesis. Se han derivado las cuatro condiciones siguientes, la presencia de cualquiera de las cuales provoca que haya subareas de levantamiento cuya exigencia se omite en la valoración del índice de riesgo resultante, siendo una fuente de imprecisión significativa:

- a)  $\exists i, \sum_1^{i+1} F'_{n,T} = \sum_1^i F'_{n,T}$  ; es decir,  $F'_{i+1,T} = 0$  ;
- b)  $\exists i, F'_{i+1,T} \ll 0,1$  ;
- c1)  $\exists i, \sum_1^{i+1} F'_{n,T} < 0,1$  si  $WD_T <> \text{“corta”}$ ;
- c2)  $\exists i, \sum_1^{i+1} F'_{n,T} \leq 0,1$  si  $WD_T = \text{“corta”}$

**H6.** En la práctica, el agarre que permiten las cargas que se levantan manualmente se puede considerar de calidad escasa en la mayoría de los casos.

Con esta investigación se ha confirmado que el requerimiento del levantamiento de cargas más frecuente en las empresas respecto a la calidad de agarre, no es un agarre cómodo y óptimo.

Este hecho contrasta con la práctica habitual en la definición de procedimientos de evaluación del riesgo, donde frecuentemente, se proporcionan criterios simplificados para una rápida aproximación al problema, parametrizados por el peso y la



frecuencia de levantamientos, considerando que el resto de atributos que caracterizan los levantamientos están presentes en sus condiciones óptimas o ideales [CEN, 2003; ISO, 2003]. El resultado obtenido en este estudio sugiere que en los criterios simplificados se asuma una calidad de agarre penosa, situación más frecuente en los sistemas productivos.

**H7.** La reducción del dominio de los atributos que caracterizan los levantamientos manuales de cargas es una estrategia de análisis de condiciones altamente variables que proporciona alta precisión en los resultados.

Esta hipótesis ha sido confirmada parcialmente, por lo que es necesaria una breve discusión al respecto. En el presente estudio, por un lado se han propuesto diferentes criterios para la reducción de los atributos  $L_T$ ,  $V_T$ ,  $H_T$ ,  $D_T$ ,  $A_T$ ,  $C_T$ , que caracterizan los levantamientos manuales de una tarea, y por otro lado, se han propuesto diferentes estrategias para su aplicación de forma integral ante el análisis de un caso.

Para analizar la calidad de los diferentes criterios y estrategias se han utilizado los siguientes indicadores: capacidad reductora parcial, capacidad reductora total y error relativo de VLI.

La reducción de cada atributo, por lo general, ha proporcionado un alto nivel de calidad, con capacidades reductoras superiores al 90% y errores relativos de VLI  $\leq 5\%$ , excepto los reductores Lint y Hr, cuyos errores relativos de VLI son -13% y 14%, respectivamente. Se ha propuesto una reducción alternativa del atributo H, Hr', con una mayor adaptación a la distribución de los datos del caso de análisis, reduciendo su error relativo de VLI al 5%.

El reductor Lint se debería aplicar con cautela por su tendencia a la subvaloración, principalmente cuando se analiza una tarea cuyos levantamientos de los pesos superiores son los que comportan requerimientos posturales más exigentes. En tales casos, el error relativo de VLI puede llegar a ser del orden del -15%.

En todo caso, la reducción de un atributo, sea cual sea, han demostrado una baja capacidad reductora total en tareas de alta variabilidad, siendo del orden del 1-2%, haciendo necesario una reducción múltiple o integral de los atributos.

Del análisis de las reducciones combinadas de los atributos se puede concluir

que, el esfuerzo reductor de cada atributo es aditivo, por lo que, cuantos más atributos se reducen, mayor es la capacidad reductora total, llegando a niveles de hasta el 90%. Pero la propiedad aditiva provoca que la tendencia subvaloradora del reductor Lint se manifieste en el resultado de la reducción múltiple, aunque en menor medida. De nuevo, se recomienda utilizar con cautela este reductor en los casos mencionados.

Se ha encontrado una combinación de reductores, {Vext, Vr, D', Hr', Ar, Cr}, cuya capacidad reductora total es del orden del 80% y el error relativo de VLI  $< 5\%$ , y por tanto, esta combinación confirma la hipótesis planteada.

Finalmente, se ha propuesto una estrategia de análisis alternativa basada en la observación reducida, que optimiza los recursos necesarios para el análisis y obtiene un nivel de calidad aceptable, con una capacidad reductora total del orden del 90% y un error relativo de VLI  $< -10\%$ .

Posteriormente, se ha mostrado cómo la calidad de esta estrategia se mejora con la reducción alternativa del atributo H, Hr', disminuyendo el error relativo de VLI a valores del orden del 1%.

Cabe notar que algunas de las reducciones de los atributos planteadas tienen una ligera tendencia a la subvaloración, tal y como se ha demostrado, como D' y Ar; otras reducciones tienen una ligera tendencia a la sobrevaloración, como Hr, Hr' y Cr. Dado que los errores relativos que producen cada reducción son del mismo orden, pero unas positivas y otras negativas, la aplicación integral de las reducciones tienden a compensar los errores, realizando finalmente un aproximación bastante precisa al problema analizado.

Por lo tanto, es posible concluir que se han confirmado las hipótesis de investigación y se han obtenido los objetivos de trabajo planteados.

En primer lugar, se ha demostrado que la ecuación NIOSH revisada es el método de referencia más adecuado actualmente para el análisis de la exposición al levantamiento manual de cargas, tanto por su validez demostrada, como por su uso ampliamente extendido entre los profesionales.

En segundo lugar, se ha demostrado la necesidad de un modelo de análisis de la exposición al riesgo de tareas de levantamiento manual de cargas altamente va-

riables, en base a la presencia frecuente de este tipo de exposiciones en el entorno laboral y a las limitaciones matemáticas de los modelos propuestos actualmente.

Se ha desarrollado una metodología formal, cuyo modelo de análisis permite interpretar de forma cuantitativa el nivel de exigencia física al que está expuesto la persona trabajadora y generar conocimiento explícito a cerca de características de la exposición que impactan sobre el nivel de riesgo, y así, orientar las prioridades de las intervenciones de mejora necesaria y simular su impacto.

Adicionalmente, se han definido los criterios de reducción de la dimensionalidad del problema de la exposición altamente variable, que permiten describirlo y caracterizarlo de una forma más comprensible y fácilmente interpretable, con la mínima pérdida de precisión en la cuantificación del nivel de exposición de la persona trabajadora.

Y por último, a través del análisis de un caso, se han definido los indicadores de calidad adecuados y se ha desarrollado su procedimiento de aplicación para identificar la mejor estrategia de aplicación del modelo propuesto según las características del caso analizado.

Es posible afirmar, por tanto, que esta investigación contribuye con el nuevo conocimiento generado a diversas áreas de conocimiento y disciplinas profesionales, mencionadas a continuación.

- Ingeniería de organización industrial y de la producción. El análisis y diseño de layouts productivos, de planes de rotación y de gestión de estocs, son algunos de los procesos que forman parte de esta disciplina y que esta investigación proporciona una metodología para obtener un criterio decisorio adicional, el nivel de riesgo de las personas trabajadoras, para optimizar sus intervenciones en los sistemas productivos.
- Epidemiología. Caracterizar los niveles de exposición de poblaciones laborales para analizar el grado de causalidad del daño, respecto a grupos de control no expuestos, es una actividad que se beneficiará enormemente de los resultados de esta investigación, cuando el objeto de estudio son los factores relacionados con el levantamiento manual de cargas. Como se ha demostrado, es muy frecuente que la exposición a estos factores sea al-

tamente variable, y como se ha reconocido en la literatura, este hecho provocaba limitaciones significativas en los estudios epidemiológicos realizados.

- Diseño de máquinas. El modelo propuesto permite simular y analizar, tanto en fase de diseño como de prototipo, la exposición al riesgo de los diferentes usuarios potenciales de la máquina, al interactuar con ella y sus componentes, a lo largo de todo su ciclo de vida, proporcionando especificaciones a su diseño. Esta aportación es especialmente significativa en Europa, donde el marco legal exige al diseñador, importador y distribuidor de máquinas asegurar que su uso no comportará ningún riesgo significativo para las personas trabajadoras; este modelo complementa los criterios establecidos en la norma técnica armonizada a la Directiva [CEN, 2003], para el análisis de tareas variables.
- Ergonomía laboral. La ergonomía laboral, regulada en Europa y en muchos países del mundo, como disciplina técnica del ámbito de la prevención de riesgos, requiere evaluar los riesgos como pilar fundamental del sistema de gestión de la prevención de riesgos laborales; este requerimiento, de obligatorio cumplimiento en Europa, requiere de métodos fiables para caracterizar de forma precisa el problema. La evaluación de tareas de levantamiento manuales de cargas de alta variabilidad, como se ha demostrado, está requiriendo que los profesionales apliquen criterios muy imprecisos, que pueden alterar enormemente la eficacia de la gestión de prevención de riesgos laborales en las empresas y sus indicadores. El resultado de esta investigación proporciona una metodología precisa para la realización de estas evaluaciones, uniformando criterios y asegurando la calidad de la gestión del riesgo por levantamientos manuales de cargas en las empresas.

Las aportaciones de esta investigación a las diferentes áreas de conocimiento y disciplinas profesionales están dirigidas a un objetivo común, mejorar las condiciones de trabajo, reducir la producción de trastornos musculoesqueléticos y, por tanto, mejorar la productividad en las empresas.

# Limitaciones del estudio y propuestas futuras

Todo y los resultados positivos obtenidos en esta investigación, es necesario mencionar las siguientes limitaciones y propuestas de estudio futuro.

Las muestras de expertos y delegados de prevención consideradas para las valoraciones de la realidad de los levantamientos manuales de cargas y sus evaluaciones en las empresas fueron muestras de conveniencia, a partir de contactos directos, quienes tienen una representatividad geográfica limitada, con un énfasis especial en España en el caso de los expertos y en Barcelona en el caso de los delegados de prevención. Futuros estudios deberían considerar replicar estas valoraciones en un mayor alcance geográfico, incluso, recogiendo la influencia de diferentes marcos legales en la práctica de la evaluación del riesgo, especialmente para países extra-europeos; otro aspecto que puede influir en la práctica profesional son las diferencias en los programas de formación de post-grado en ergonomía laboral. Adicionalmente, puede ser interesante valorar las diferencias en los requerimientos de levantamientos manuales de cargas entre países desarrollados y en vías de desarrollo.

La condición de control significativo en el depósito de la carga y su impacto sobre el modelo planteado no se ha estudiado en detalle. La presencia de esta condición puede provocar que los requerimientos posturales en el depósito de la carga tomen relevancia, respecto a los del origen. El modelo planteado es aplicable ante tal condición, e incluso, la estrategia de observación reducida considera los requerimientos posturales del depósito junto con los del origen de una forma integral, pero su variabilidad y el impacto del modelo sobre la distribución de los datos no se ha analizado en detalle. La variabilidad sobre la condición de control significativo en el destino debería requerir estudios adicionales, tanto en el desarrollo de modelos y metodologías de análisis como su impacto en la salud a través de estudios epidemiológicos.

La referencia básica del modelo propuesto ha sido la ecuación NIOSH revisada, resolviendo los problemas que esta metodología comporta para el análisis de ex-

posiciones variables; pero se han heredado algunas de sus limitaciones, principalmente los límites de los dominios de los valores de los atributos V, H y WD, a partir de los cuales, para valores fuera de estos dominios, el modelo no es aplicable, considerándose directamente como condiciones críticas. Existen situaciones donde es posible encontrarse ante valores fuera de los dominios de estos atributos; en el sector de la construcción puede ser habitual encontrarse ante valores  $WD > 480\text{min}$ ; en [DEMPSEY, 2003], aproximadamente el 10% de los levantamientos analizados se caracterizaban por un valor del atributo H superior a los 63cm.

Adicionalmente, la ecuación NIOSH revisada tiene otras restricciones del ámbito de aplicación, que el modelo hereda, como condiciones donde los movimientos son muy rápidos, superiores a 1m/s, o el coeficiente de fricción entre el calzado y el suelo es inferior a 0,4.

Mientras algunos autores ya están intentando proporcionar multiplicadores adicionales en la ecuación NIOSH que permitan evaluar estas situaciones de forma analítica, como en [COLOMBINI et al., 2012], donde se propone un multiplicador cuando  $8 < WD < 12\text{h}$ , otros autores [ISO, 2012b] han utilizado la identificación de estas condiciones como método de evaluación rápida, como forma de priorizar la intervención en aquellos puestos donde se identifican las condiciones críticas. La presencia de estos y otros factores adicionales, como la técnica de levantamiento utilizada y la experiencia, deberían ser objeto de investigación futura, dirigida principalmente a revisar, en caso necesario, la ecuación NIOSH revisada o a proporcionar nuevos multiplicadores que permitan evaluar analíticamente estas situaciones.

Otra limitación heredada de la ecuación NIOSH revisada, es el análisis de la exigencia debida únicamente al levantamiento manual de cargas. El empuje y tracción de cargas, tal y como se define en la norma técnica [ISO, 2007a], también comporta una exposición al riesgo de daño en la zona baja de la espalda y en los hombros [HOOZEMANS et al., 2002]; parece necesario desarrollar investigación en el futuro que permita integrar el análisis de la exposición del levantamiento manual de cargas y del empuje y tracción de cargas, estando ambos requerimientos de trabajo muy interrelacionados en un sistema productivo.

Por último, cabe mencionar la limitación sobre el marco temporal de la variabili-

dad. En esta investigación se ha trabajado con un marco de referencia temporal de la variabilidad de un día, considerando que la variabilidad en la exposición es idéntica durante todos los días de trabajo. Contextos laborales donde la exposición tiene patrones de repetición más amplios no se han analizado. Este tipo de problema ya se está abordando de una forma sistemática para el desarrollo de modelos de evaluación del riesgo en extremidades superiores por trabajo repetitivo ante patrones de exposición anual, como en viticultura [ALVAREZ-CASADO et al., 2009], agricultura [COLOMBINI et al., 2007], o en jardinería urbana [ALVAREZ-CASADO et al., 2012]. La investigación dirigida al desarrollo de modelos para analizar patrones de exposición semanal, mensual y anual del levantamiento manual de cargas, permitirá el desarrollo de estudios epidemiológicos de mayor alcance en el futuro.

## Producción científica e impacto de esta investigación

### Producción científica

A continuación se mencionan las publicaciones que se han originado a partir del desarrollo de esta investigación, en orden cronológico.

#### Artículos

1. Título: **Procedures for collecting and organizing data useful for the analysis of variable lifting tasks and for computing the VLI.**

Nombre del congreso: 17th World Congress on Ergonomics

Tipo de participación: Ponencia Intervención por: Revisión previa a la aceptación

Ciudad de realización: Beijing, China

Publicación en acta congreso: SI Con comité de admisión ext.: SI

Fecha de publicación: 2009

Colombini, D., Occhipinti, E., Alvarez-Casado, E., Hernandez, A., Waters, T. 2009. Procedures for collecting and organizing data useful for the analysis of variable lifting tasks and for computing the VLI. En: Proceedings of the 17th Triennial Congress of the International Ergonomics Association.

2. Título: **The variable lifting index (VLI): a new method for evaluating variable lifting tasks using the revised NIOSH lifting equation.**

Nombre del congreso: 17th World Congress on Ergonomics

Tipo de participación: Ponencia Intervención por: Revisión previa a la aceptación

Ciudad de realización: Beijing, China

Publicación en acta congreso: SI Con comité de admisión ext.: SI

Fecha de publicación: 2009

Waters, T., Occhipinti, E., Colombini, D., Alvarez-Casado, E., Hernandez, A. 2009. The variable lifting index (VLI): a new method for evaluating variable lifting tasks using the revised NIOSH lifting equation. En: Proceedings of the 17th Triennial Congress of the International Ergonomics Association.

3. Título: **La ergonomía en el sector de la construcción: el método EC2.**

Tipo de producción: Artículo Tipo de soporte: Revista

Nombre de la revista: Ciencia & Trabajo

ISSN: 0718-0306

Fecha de publicación: 2009

Índice de impacto: 3,500; agencia de impacto: ICDS

Cerda, E.; Hernandez, A.; Rodriguez, P.; Alvarez-Casado, E.; Rodriguez, C. 2009. La ergonomía en el sector de la construcción: el método EC2. Ciencia & Trabajo, 34:188-192.

4. Título: **Caracterización de la sobrecarga biomecánica en trabajadores de barcos pesqueros de cerco en bajura.**

Tipo de producción: Artículo Tipo de soporte: Revista

Nombre de la revista: Medicina marítima

ISSN: 1136-6532

Fecha de publicación: 2009

Índice de impacto: 3,704; agencia de impacto: ICDS

Álvarez-Casado, E.; Tello, Sonia.; Hernández-Soto. 2010. Caracterización de la



sobrecarga biomecánica en trabajadores de barcos pesqueros de cerco en bajura. Medicina marítima, 10(1):23-30.

5. Título: **Simplified procedures for collecting and organize data useful for analyzing complex manual handling tasks and for computing the corresponding final risk index.**

Nombre del congreso: 8th International Conference on Occupational Risk Prevention

Tipo de participación: Ponencia Intervención por: Acceso por inscripción libre

Ciudad de realización: Valencia

Publicación en acta congreso: SI Con comité de admisión ext.: SI

Fecha de publicación: 2010

Colombini, D., Occhipinti, E., Alvarez-Casado, E., Hernandez, A. 2010. Simplified procedures for collecting and organize data useful for analyzing complex manual handling tasks and for computing the corresponding final risk index.

En: Proceedings of the 8th International Conference on Occupational Risk Prevention. ETSEIB. ISBN 9788493425685.

6. Título: **Developing of toolkits for prevention of work-related musculoskeletal disorders based on a collaborative platform.**

Nombre del congreso: 8th International Conference on Occupational Risk Prevention

Tipo de participación: Ponencia Intervención por: Acceso por inscripción libre

Ciudad de realización: Valencia

Publicación en acta congreso: SI Con comité de admisión ext.: SI

Fecha de publicación: 2010

Zhang, B., Alvarez-Casado, E., Occhipinti, E., Mondelo, P. 2010. Developing of toolkits for prevention of work-related musculoskeletal disorders based on a collaborative platform. En: Proceedings of the 8th International Conference on Occupational Risk Prevention. ETSEIB. ISBN 9788493425685.

7. Título: **Ergonomics as basis for a decision support system in the printing industry.**

Nombre del congreso: 8th International Conference on Occupational Risk Prevention

Tipo de participación: Ponencia Intervención por: Acceso por inscripción libre

Ciudad de realización: Valencia

Publicación en acta congreso: SI Con comité de admisión ext.: SI

Fecha de publicación: 2010

Mateo, M.; Alvarez-Casado, E.; Rodriguez, P.; Tarral, M. 2010. Ergonomics as basis for a decision support system in the printing industry. En: Proceedings of the 8th International Conference on Occupational Risk Prevention. ETSEIB. ISBN 9788493425685.

8. Título: **Using ergonomic digital human modeling in evaluation of workplace design and prevention of work-related musculoskeletal disorders aboard small fishing vessels.**

Tipo de producción: Artículo Tipo de soporte: Revista

Nombre de la revista: Human factors and ergonomics in manufacturing and services

ISSN: 1090-8471

Fecha de publicación: 2011

Índice de impacto: 0,417; agencia de impacto: ISI

Alvarez-Casado, E., Zhang, B., Tello, S., Rodriguez, P. 2011. Using ergonomic digital human modeling in evaluation of workplace design and prevention of work-related musculoskeletal disorders aboard small fishing vessels. Human factors and ergonomics in manufacturing and services.

9. Título: **Experiences in biomechanical risk management training in different countries by the Spanish EPM International Ergonomics School.**

Nombre del congreso: 30th International Congress on Occupational Health

Tipo de participación: Ponencia Intervención por: Acceso por inscripción libre

Ciudad de realización: Cancún, Mexico

Publicación en acta congreso: SI Con comité de admisión ext.: SI

Fecha de publicación: 2012

Álvarez-Casado, E. 2012. Experiences in biomechanical risk management training in different countries by the Spanish EPM International Ergonomics School. En: Proceedings of the 30th International Congress on Occupational Health. International Commission on Occupational Health.

10. Título: **Development of good practices database of European regions for prevention of work related musculoskeletal disorders: TIAM Project.**

Tipo de producción: Artículo Tipo de soporte: Revista

Nombre de la revista: Work

ISSN: 1051-9815

Fecha de publicación: 2012

Índice de impacto: 0,747; agencia de impacto: IF

Achleitner H., Álvarez-Casado, E., Zhang, B. 2012. Development of good practices database of European regions for prevention of work related musculo-skeletal disorders: TIAM project. Work, 41: 6133-6138.

11. Título: **Screening of patient manual handling risk using the MAPO method.**

Tipo de producción: Artículo Tipo de soporte: Revista

Nombre de la revista: La Medicina del Lavoro

ISSN: 0025-7818

Fecha de publicación: 2012

Índice de impacto: 0,391; agencia de impacto: ISI

Battevi, N., Menoni, O., Alvarez-Casado, E. 2012. Screening of patient manual handling risk using the MAPO method. La Medicina del Lavoro, 103(1).

## Libros

1. Título: **Aspectos metodológicos de la evaluación de riesgos musculoesqueléticos por trabajo repetitivo y MMC.**

Tipo de producción: Libro Tipo de soporte: CD

Editorial: Escola Tècnica Superior d'Enginyeria Industrial de Barcelona.

ISBN: 978-84-934256-6-1

Fecha de publicación: 2008

Colombini, D., Alvarez-Casado, E., Hernandez, A. 2008. Aspectos metodológicos de la evaluación de riesgos musculo esqueléticos por trabajo repetitivo y MMC. Escola Tècnica Superior d'Enginyeria Industrial de Barcelona, Universitat Politècnica de Catalunya, Barcelona.

2. Título: **Manual de evaluación de riesgos para la prevención de trastornos musculoesqueléticos.**

Tipo de producción: Libro Tipo de soporte: Libro

Editorial: Factors Humans.

ISBN: 978-84-613-5617-1

Fecha de publicación: 2009

Depósito legal: B-37.910-2009

Alvarez-Casado, E.; Hernandez, A.; Tello, S. 2009. Manual de evaluación de riesgos para la prevención de trastornos musculoesqueléticos. Editorial Factors Humans, Barcelona.

3. Título: **Manual Lifting: A Guide to the Study of Simple and Complex Lifting Tasks.**

Tipo de producción: Libro Tipo de soporte: Libro

Editorial: CRC Press. Taylor & Francis Group.

ISBN: 978-1-4398-5663-5

Fecha de publicación: 2012

Colombini, D., Ochipinti, E., Alvarez-Casado, E., Waters, T. 2012. Manual Lifting: A Guide to the Study of Simple and Complex Lifting Tasks. CRC Press. Taylor & Francis Group, USA.

## Conferencias

A continuación se referencian las conferencias realizadas por el autor de esta investigación, como acciones de divulgación de los resultados obtenidos en foros nacionales e internacionales, científicos y profesionales, en orden cronológico.

1. Título: **Ergonomía para el diseño de máquinas.**

Nombre del evento: Postgrado

Tipo de evento: Formación reglada

Tipo de participación: Ponencia invitada

Ámbito del evento: Nacional

Ciudad de realización: Alicante, España

Fecha de realización: 5/03/2008

Entidad organizadora: Universitat Jaume I

2. Título: **Aspectos metodológicos para la evaluación de riesgos en ergonomía.**

Nombre del evento: 6th International Congress on Occupational Risk Prevention

Tipo de evento: Congreso

Tipo de participación: Ponencia invitada

Ámbito del evento: Internacional no UE  
Ciudad de realización: A Coruña, España  
Fecha de realización: 15/05/2008  
Entidad organizadora: Universitat Politècnica de Catalunya

3. Título: **El modelo de tareas universales con variantes finitas para la evaluación de riesgos biomecánicos.**

Nombre del evento: II Seminario Internazionale "La prevenzione e la gestione del rischio da sovraccarico biomeccanico"

Tipo de evento: Conferencias

Tipo de participación: Ponencia invitada

Ámbito del evento: Internacional UE

Ciudad de realización: Milano, Italia

Fecha de realización: 11/06/2008

Entidad organizadora: Unità di Ricerca Ergonomia della Postura e del Movimento. Università degli Studi di Milano.

4. Título: **La ergonomia al sector industrial: Visió acadèmica.**

Nombre del evento: Riscos Ergonòmics en el Sector Industrial

Tipo de evento: Conferencias

Tipo de participación: Ponencia invitada

Ámbito del evento: Autonómico

Ciudad de realización: Parets del Vallés, Barcelona

Fecha de realización: 06/03/2009

Entidad organizadora: UGT Catalunya

5. Título: **Demonstration session on new techniques to assess manual handling risk.**

Nombre del evento: 17th World Congress on Ergonomics

Tipo de evento: Congreso

Tipo de participación: Workshop

Ámbito del evento: Internacional no UE

Ciudad de realización: Beijing, China

Fecha de realización: 04/08/2009

Entidad organizadora: International Ergonomics Association

6. Título: **Nuevos criterios metodológicos para la evaluación del riesgo por manipulación manual de cargas.**  
Nombre del evento: 3er Simposio Internacional de Ergonomía y Psicosociología  
Tipo de evento: Congreso  
Tipo de participación: Ponencia invitada  
Ámbito del evento: Internacional no UE  
Ciudad de realización: Avilés, España  
Fecha de realización: 29/10/2009  
Entidad organizadora: Asociación Nacional de Ergonomía
7. Título: **Manipulación manual de cargas: nuevos criterios metodológicos.**  
Nombre del evento: 7th International Conference on Occupational Risk Prevention  
Tipo de evento: Congreso  
Tipo de participación: Workshop  
Ámbito del evento: Internacional no UE  
Ciudad de realización: Santiago de Chile, Chile  
Fecha de realización: 24/11/2009  
Entidad organizadora: Universitat Politècnica de Catalunya
8. Título: **Manipulación manual de cargas: desarrollo de casos complejos.**  
Nombre del evento: 7th International Conference on Occupational Risk Prevention  
Tipo de evento: Congreso  
Tipo de participación: Workshop  
Ámbito del evento: Internacional no UE  
Ciudad de realización: Santiago de Chile, Chile  
Fecha de realización: 24/11/2009  
Entidad organizadora: Universitat Politècnica de Catalunya
9. Título: **Avances en la identificación de exigencias físicas y de factores de riesgo biomecánico en buques de pesca.**  
Nombre del evento: 7th International Conference on Occupational Risk Prevention  
Tipo de evento: Congreso  
Tipo de participación: Workshop

Ámbito del evento: Internacional no UE  
Ciudad de realización: Santiago de Chile, Chile  
Fecha de realización: 24/11/2009  
Entidad organizadora: Universitat Politècnica de Catalunya

10. Título: **La prevenció dels riscos ergonòmics, situació actual.**

Nombre del evento: Ergonomia en els processos industrials  
Tipo de evento: Conferencias  
Tipo de participación: Ponencia invitada  
Ámbito del evento: Autonómico  
Ciudad de realización: Barcelona  
Fecha de realización: 16/04/2010  
Entidad organizadora: UGT Catalunya

11. Título: **Índice de levantamiento variable: nuevos criterios metodológicos para la evaluación del riesgo por levantamiento de cargas en tareas muy variables.**

Nombre del evento: 8th International Conference on Occupational Risk Prevention  
Tipo de evento: Congreso  
Tipo de participación: Ponencia invitada  
Ámbito del evento: Internacional no UE  
Ciudad de realización: Valencia, España  
Fecha de realización: 05/05/2010  
Entidad organizadora: Universitat Politècnica de Catalunya

12. Título: **Manipulación manual de cargas: nuevos criterios metodológicos y resolución de casos complejos.**

Nombre del evento: 8th International Conference on Occupational Risk Prevention  
Tipo de evento: Congreso  
Tipo de participación: Ponencia invitada  
Ámbito del evento: Internacional no UE  
Ciudad de realización: Valencia, España  
Fecha de realización: 06/05/2010  
Entidad organizadora: Universitat Politècnica de Catalunya

13. Título: **Experiencias y proyectos estratégicos en prevención de trastornos musculoesqueléticos en el País Vasco.**  
Nombre del evento: IV Seminario Internazionale Lavoro artigianale e piccola impresa  
Tipo de evento: Conferencias  
Tipo de participación: Intervención por invitación  
Ámbito del evento: Internacional UE  
Ciudad de realización: Milano, Italia  
Fecha de realización: 17/06/2010  
Entidad organizadora: Unità di Ricerca Ergonomia della Postura e del Movimento. Università degli Studi di Milano.
14. Título: **Criterios metodológicos para la gestión de la ergonomía en el trabajo.**  
Nombre del evento: Jornada Experiencias internacionales en ergonomía  
Tipo de evento: Conferencias  
Tipo de participación: Intervención por invitación  
Ámbito del evento: Internacional no UE  
Ciudad de realización: Bogotá, Colombia  
Fecha de realización: 22/12/2010  
Entidad organizadora: Universidad Nacional de Colombia
15. Título: **First experiences of Italy with Spain on transposition of methods.**  
Nombre del evento: TANDEM project: innovation in ergonomics  
Tipo de evento: Conferencias  
Tipo de participación: Intervención por invitación  
Ámbito del evento: Internacional UE  
Ciudad de realización: Prague, República Checa  
Fecha de realización: 02/2011  
Entidad organizadora: CAOP
16. Título: **Curso de Experto en evaluación y gestión del riesgo por levantamiento manual de cargas.**  
Nombre del evento: Curso de Experto en evaluación y gestión del riesgo por levantamiento manual de cargas.  
Tipo de evento: Seminario  
Tipo de participación: Intervención por invitación



Ámbito del evento: Nacional

Ciudad de realización: Barcelona, España

Fecha de realización: 2011

Entidad organizadora: EPM International Ergonomics School.

17. Título: **Nuevos criterios metodológicos para la evaluación del riesgo por levantamiento de cargas.**

Nombre del evento: Primer Encuentro de Ergonomía de Canarias

Tipo de evento: Congreso

Tipo de participación: Ponencia invitada

Ámbito del evento: Autonómico

Ciudad de realización: Santa Cruz de Tenerife

Fecha de realización: 12/05/2011

Entidad organizadora: Gobierno de Canarias.

18. Título: **Actualizaciones internacionales en el ámbito de la ergonomía laboral.**

Nombre del evento: Máster oficial de Prevención de Riesgos Laborales

Tipo de evento: Formación reglada

Tipo de participación: Ponencia invitada

Ámbito del evento: Nacional

Ciudad de realización: Valencia, España

Fecha de realización: 10/06/2011

Entidad organizadora: Universidad de Valencia

19. Título: **Nuevos criterios metodológicos para la evaluación del riesgo por levantamiento manual de cargas.**

Nombre del evento: Primer Encuentro de Ergonomía de Canarias en Gran Canarias.

Tipo de evento: Congreso

Tipo de participación: Ponencia invitada

Ámbito del evento: Autonómico

Ciudad de realización: Las Palmas de Gran Canaria

Fecha de realización: 20/06/2011

Entidad organizadora: Gobierno de Canarias.

20. Título: **EN and ISO standards related to work-related musculoskeletal disorders prevention.**

Nombre del evento: TIAM Dissemination Seminary

Tipo de evento: Conferencias

Tipo de participación: Intervención por invitación

Ámbito del evento: Internacional UE

Ciudad de realización: Pilsen, República Checa

Fecha de realización: 07/09/2011

Entidad organizadora: University of West Bohemia

21. Título: **Toolkits for hazard identification, risk assessment and prevention of work-related musculoskeletal disorders based on a collaborative platform.**

Nombre del evento: Linking Health Technology across Europe Event

Tipo de evento: Conferencias

Tipo de participación: Intervención por invitación

Ámbito del evento: Internacional UE

Ciudad de realización: Linz, Austria

Fecha de realización: 06/10/2011

Entidad organizadora: ACCIO

22. Título: **Niosh revised lifting equation (RNLE) and its evolution for the analysis of variable lifting tasks.**

Nombre del evento: 18th World Congress on Ergonomics

Tipo de evento: Congreso

Tipo de participación: Workshop

Ámbito del evento: Internacional no UE

Ciudad de realización: Recife, Brasil

Fecha de realización: 15/02/2012

Entidad organizadora: International Ergonomics Association

23. Título: **Criteris de normes internacionals per a la identificació de perills d'ergonomia.**

Nombre del evento: Jornada de Ergonomía

Tipo de evento: Conferencias

Tipo de participación: Intervención por invitación

Ámbito del evento: Autonómico

Ciudad de realización: Barcelona, España

Fecha de realización: 01/03/2012

Entidad organizadora: UGT Catalunya

24. Título: **Ergonomía en el almacén: La gestión del levantamiento manual de cargas**

Nombre del evento: II Jornada de PRL en Operadores Logísticos

Tipo de evento: Conferencias

Tipo de participación: Intervención por invitación

Ámbito del evento: Estatal

Ciudad de realización: Madrid, España

Fecha de realización: 24/05/2012

Entidad organizadora: Instituto Logístico Tajamar

## Impacto de la investigación

Aunque el impacto de los resultados de esta investigación en la comunidad científica y profesional se deberá valorar en los próximos años, las publicaciones y acciones de divulgación realizadas, han iniciado a manifestar algunos resultados.

A continuación se enuncian algunas iniciativas que referencian parte de los resultados de esta investigación.

Como el impacto más significativo obtenido hasta la fecha, se resalta el hecho que el modelo propuesto se ha incluido en el nuevo documento normativo que está elaborando el grupo de trabajo ISO/TC 159/SC 3/WG 4 [ISO, 2012b], en su Anexo A, Información para la aplicación de la norma ISO 11228-1, como guía para el análisis de levantamientos multitarea, complementando los criterios actualmente contenidos en dicha norma [ISO, 2003].

El Instituto nacional de seguridad y salud italiano (INAIL), junto con la asociación empresarial Edilcassa de la región de Basilicata, Italia, han iniciado un estudio epidemiológico en el sector de la construcción sobre el levantamiento manual de cargas. En este estudio se referencia el modelo VLI como instrumento utilizado para la valoración de la exposición al riesgo. Para más información, se puede

buscar “BASILICATA - Il rischio movimento manuale dei carichi in edilizia : i primi risultati della ricerca” en: <<http://www.inail.it>>.

El Instituto Nacional de Seguridad e Higiene en el Trabajo (INSHT), publicó en febrero de 2011 el Portal de Trastornos Musculoesqueléticos en Internet. En la sección sobre métodos de evaluación se recomienda el modelo propuesto en esta investigación, con la estrategia de observación reducida, como método de evaluación del riesgo por levantamiento manual de cargas en tareas complejas y variables. La dirección del portal es:

<<http://www.insht.es/portal/site/MusculoEsqueleticos/>>.

La Dirección General de Seguridad y Salud Laboral Consejería de Empleo de la Junta de Andalucía, referencia la metodología propuesta como nuevo método de evaluación del riesgo de tareas variables en el informe “Nuevas estrategias y líneas de actuación en materia de Prevención de Riesgos Laborales”, publicado en 2011. El informe está disponible en: <<http://www.juntadeandalucia.es>>.

Igualmente, se ha referenciado en la publicación “Segurança, Higiene e Saúde do Trabalho” de la editorial Verlag Dashöfer. Más información en: <<http://higiene-seguranca-trabalho.dashofer.pt>>.

El Instituto de Biomecánica de Valencia ha incluido el modelo VLI en la versión 10 del software ErgoIBV, en su módulo opcional MMC Variable. Más información en: <[http://laboral.ibv.org/index.php/es/aplicacion/show\\_product/9/292](http://laboral.ibv.org/index.php/es/aplicacion/show_product/9/292)>.

# Referencias

---

ABDALLAH, S., GENAIDY, A., KARWOWSKI, W., SHELL, R., SONBOL, A., RAVELO, E., HOLLEY, M. B. 2005. Theoretical basis for general lifting equations based on mechanical work performed during manual lifting. *Theoretical Issues in Ergonomics Science*, 6(6): 551-564.

ACGIH (American Conference of Governmental Industrial Hygienists). 2001. Hand activity level. In *TLVs and BEIs—Threshold Limit Values for Chemical Substances and Physical Agents*. Cincinnati, Ohio. 110-112.

ACGIH (American Conference of Governmental Industrial Hygienists). 2005. *Lifting: TLV® Physical Agents. 7th Edition Documentation*. Publication #7DOC-734. Cincinnati.

AGUILERA, A.M. 2001. *Tablas de contingencia bidimensionales*. La Muralla. Madrid.

ALVAREZ-CASADO, E., HERNANDEZ-SOTO, A., TELLO, S., GUAL, R. 2012. Study of biomechanical overload in urban gardeners of Barcelona: application of analytical models for risk exposure evaluation in annual working cycle. *Work: A Journal of Prevention, Assessment and Rehabilitation*, 41(Sup. 1): 3973-3980.

ALVAREZ-CASADO, E., HERNANDEZ-SOTO, A., COLOMBINI, D. 2009. Repetitive movements of upper limbs in viticulture: set up of annual exposure level assessment models with OCRA checklist comparing with the first results of clinical data. *Proceedings of the 17th Triennial Congress of the International Ergonomics Association*, Beijing, Agosto 9-14.

ALVAREZ-CASADO, E., HERNANDEZ-SOTO, A., TELLO, S. 2009. *Manual de evaluación de riesgos para la prevención de trastornos musculoesqueléticos*. Factors Humans. Barcelona.

AUTHIER, M., LORTIE, M. 1993. Assessment of factors considered to be important in handling tasks by expert handlers. *International Journal of Industrial*

Ergonomics, 11: 331-340.

AUTHIER, M., LORTIE, M., GAGNON, M. 1996. Manual handling techniques: comparing novices and experts. *International Journal of Industrial Ergonomics*, 17: 419-429.

BALOGH, I., HANSSON, G.A., OHLSSON, K., STROMBERG, U., SKERFVING, S. 1999. Inter-individual variation of physical load in a work task. *Scand J Work Environ Health*, 25: 57-66.

BALOGH, I., ORBAEK, P., WINKEL, J., NORDANDER, C., OHLSSON, K., EKTOR-ANDERSEN, J. 2001. Questionnaire-based mechanical exposure indices for large population studies-reliability, internal consistency and predictive validity. *Scand J Work Environ Health*, 27: 41-48.

BARIL-GINGRAS, G., LORTIE, M. 1995. The handling of objects other than boxes: univariate analysis of handling techniques in a large transport company. *Ergonomics*, 38: 905-925.

BODA, S., BHOYAR, P., GARG, A. 2010. Validation of Revised NIOSH Lifting Equation and 3D SSP Model to Predict Risk of Work-Related Low Back Pain. *En Proceedings of the Human Factors and Ergonomics Society 54th Annual Meeting 2010*, 5: 1185-1189.

BORCEUX, F. 1994. *Handbook of Categorical Algebra 1. Basic Category Theory*. Cambridge University Press.

BURDORF, A. 1999. Editorial; In musculoskeletal epidemiology are we asking the unanswerable in questionnaires on physical load?. *Scand J Work Environ Health*, 25: 81-83.

CEN. 2001. EN 1005-1. Safety of machinery - Human physical performance - Part 1: Terms and definitions.

CEN. 2002. EN 1005-3. Safety of machinery - Human physical performance - Part 3: Recommended force limits for machinery operation.

CEN. 2003. EN 1005-2. Safety of machinery - Human physical performance - Part 2: Manual handling of machinery and component parts of machinery.

CEN. 2004. EN 1005-4. Safety of machinery - Human physical performance - Part

4: Evaluation of working postures and movements in relation to machinery.

CEN. 2007. EN 1005-5. Safety of machinery - Human physical performance - Part 5 Risk assessment for repetitive handling at high frequency.

CHEN, Y.L., MEYER, J.D., SONG, J., MCDONALD, J.C., CHERRY, N. 2002. Reliability assessment of a coding scheme for the physical risk factors of work-related musculoskeletal disorders. *Scand J Work Environ Health*, 28: 232-237.

CHEN, Y.L., LEE, Y.C., CHEN, C.J. 2011. Differences in lifting strength profiles between experienced workers and novices at various exertion heights. *International Journal of Industrial Ergonomics*, 41(1): 53-58.

CIRIELLO, V.M., SNOOK, S.H., HASHEMI, L., COTNAM, J. 1999. Distribution of manual material handling tasks parameters. *International Journal of Industrial Ergonomics*, 24: 379-388.

COLE, S., MCGLOTHLIN, J. 2009. Ergonomics Case Study: Revised NIOSH Lifting Equation Instruction Issues for Students. *Journal of Occupational and Environmental Hygiene*, 6(11): 73-81.

COLOMBINI, D., OCCHIPINTI, E., ALVAREZ-CASADO, E., WATERS, T.R. 2012. *Manual Lifting: A Guide to the Study of Simple and Complex Lifting Tasks*. CRC Press. Taylor & Francis Group.

COLOMBINI, D., OCCHIPINTI, E., ALVAREZ-CASADO, E., HERNANDEZ-SOTO, A., TELLO, S. 2012. El método OCRA Checklist. *Factors Humans*. Barcelona.

COLOMBINI, D., OCCHIPINTI, E., ALVAREZ-CASADO, E., HERNANDEZ-SOTO, A., WATERS, T.R. 2009. Procedures for collecting and organizing data useful for the analysis of variable lifting tasks and for computing the VLI. *Proceedings of the 17th Triennial Congress of the International Ergonomics Association*, Beijing, Agosto 9-14.

COLOMBINI, D., HERNANDEZ-SOTO, A., ALVAREZ-CASADO, E. 2007. Repetitive movements of upper limbs in agriculture: set up of annual exposure level assessment models starting from OCRA checklist via simple and practical tools. *Proceedings of the Agriculture Ergonomics Development Conference*. Kuala Lumpur, Malaysia, Nov.

COUNCIL OF EUROPEAN COMMUNITIES. 1990. Council Directive of 29 May 1990 on the minimum health and safety requirements for the manual handling of loads where there is a risk particularly of back injury to workers (fourth individual Directive within the meaning of Article 16 (1) of Directive 89/391/EEC) (90/269/EEC). Official Journal of the European Communities, NoL 156/9. <<http://eur-lex.europa.eu/LexUriServ/LexUriServ.do?uri=OJ:L:1990:156:0009:0013:EN:PDF>> [Consulta: 13 mar. 2012].

DAI, B., JIN, S., NING, X., MIRKA, G. 2010. The effects of horizontal load speed and lifting frequency on lifting technique and biomechanics. *Ergonomics*, 53(8): 1024-1032.

DALE, A.M., JAEGER, L., ABRAHAM, R., EVANOFF, B.A. 2009. Comparison of Exposure Methods in Home Building Carpenters. Proceedings of the 17th Triennial Congress of the International Ergonomics Association, Beijing, Agosto 9-14.

DAYNARD, D., YASSI, A., COOPER, J.E., TATE, R., NORMAN, R., WELLS, R. 2001. Biomechanical analysis of peak and cumulative spinal loads during simulated patient-handling activities: a substudy of randomized controlled trial to prevent transfer injury of healthcare workers. *Appl. Ergon.*, 32(3): 199-214.

DENNIS, G.J., BARRETT, R.S. 2002. Spinal loads during individual and team lifting. *Ergonomics*, 45(10): 671-681.

DENNIS, G.J., BARRETT, R.S. 2003. Spinal loads during two-person team lifting: effect of load mass distribution. *International Journal of Industrial Ergonomics*, 32(5): 349-358.

DEMPSEY, P.G. 1999. Utilizing criteria for assessing multiple-task manual materials handling jobs. *International Journal of Industrial Ergonomics*, 24: 405-416.

DEMPSEY, P.G., FATHALLAH, F. 1999. Application issues and theoretical concerns regarding the 1991 NIOSH equation asymmetry multiplier. *International Journal of Industrial Ergonomics*, 23: 181-191.

DEMPSEY, P.G., BURDORF, A., FATHALLAH, F., SOROCK, G.S., HASHEMI, L. 2001. Influence of Measurement Accuracy on the Application of the 1991 NIOSH Equation. *Applied Ergonomics*, 32: 91-99.



DEMPSEY, P.G. 2002. Usability of the revised NIOSH lifting equation. *Ergonomics*, 45(12): 817-828.

DEMPSEY, P.G. 2003. A Survey of Lifting and Lowering Tasks. *International Journal of Industrial Ergonomics*, 31: 11-16.

DOBSON, A.J., BARNETT, A.G. 2008. An introduction to generalized linear models (3ª ed). Chapman & Hall/CRC. London.

EASHW (European Agency for Safety and Health at Work). 2000a. Research on work-related low back disorders. Institute for Occupational Safety and Health. Brussels.

EASHW (European Agency for Safety and Health at Work). 2000b. Future occupational safety and health research needs and priorities in the member states of the European Union.

EASHW (European Agency for Safety and Health at Work). 2007. Work-related musculoskeletal disorders: Back to work report. Office for Official Publications of the European Communities. Luxembourg.

<<http://osha.europa.eu/en/publications/reports/7807300>> [Consulta: 23 abr. 2012].

EASHW (European Agency for Safety and Health at Work). 2010. OSH in figures: Work-related musculoskeletal disorders in the EU - Facts and figures. Office for Official Publications of the European Communities. Luxembourg.

<<http://osha.europa.eu/en/publications/reports/TERO09009ENC>> [Consulta: 23 abr. 2012].

EFILWC (European Foundation for the Improvement of Living and Working Conditions). 2010. 5th European Working Conditions Survey.

<<http://www.eurofound.europa.eu/surveys/smt/ewcs/results.htm>> [Consulta: 23 abr. 2012].

ELFEITURI, F.E., TABOUN S.M. 2002. An Evaluation of the NIOSH Lifting Equation: A Psychophysical and Biomechanical Investigation. *International Journal of Occupational Safety and Ergonomics*, 8(2): 243-258.

ENCT. 2007. VI Encuesta nacional de condiciones de trabajo. INSHT. Madrid.  
<<http://encuestasnacionales.oect.es/enge/EngeAnalisis.jsp>> [Consulta: 21 abr. 2012].

EUROSTAT. 2010. Health and safety at work in Europe (1999-2007): A statistical portrait. Publications Office of the European Union. Luxembourg.  
<[http://epp.eurostat.ec.europa.eu/cache/ITY\\_OFFPUB/KS-31-09-290/EN/KS-31-09-290-EN.PDF](http://epp.eurostat.ec.europa.eu/cache/ITY_OFFPUB/KS-31-09-290/EN/KS-31-09-290-EN.PDF)> [Consulta: 23 abr. 2012].

FABER, G.S., KINGMA, I., KUIJER, P.P.F.M., VAN DER MOLEN, H.F., HOOZEMANS, M.J.M., FRINGS-DRESEN, M.H.W., VAN DIEEN, J.H. 2009. Working height, block mass and one- vs. two-handed block handling: the contribution to low back and shoulder loading during masonry work. *Ergonomics*, 52(9): 1104-1118.

FABER, G.S., KINGMA, I., DIEEN, J. 2011. Effect of initial horizontal object position on peak L5/S1 moments in manual lifting is dependent on task type and familiarity with alternative lifting strategies. *Ergonomics*, 54(1): 72-81.

FALLENTIN, N., JUUL-KRISTENSEN, B., MIKKELSEN, S., ANDERSEN, J.H., BONDE, J.P., FROST, P., ENDAHL, L. 2001. Physical exposure assessment in monotonous repetitive work–The PRIM study. *Scand J Work Environ Health*, 27: 21-29.

FARAWAY, J. 2006. Extending the linear Model with R. Generalized Linear, Mixed Effects and Nonparametric Regression Models. Chapman & Hall/CRC. London.

FERREIROS, J. 2007. Labyrinth of Thought: A history of set theory and its role in modern mathematics. Basel, Birkhäuser.

GAGNON, M., PLAMONDON, A., GRAVEL, D., LORTIE, M. 1996. Knee movement strategies differentiate expert from novice workers in asymmetrical manual materials handling. *Journal of Biomechanics*, 29: 1445-1453.

GARG, A., SAXENA, U. 1979. Effects of lifting frequency and technique on physical fatigue with special reference to psychophysical methodology and metabolic rate. *American Industrial Hygiene Association Journal*, 49: 894-903.

GENAIDY, A., BELTRAN, J., YEUNG, S., KARWOWSKI, W., SUCCOP, P., HUSTON, R. STAMBOUGH, J. 2000. Use of human expertise in the evaluation of manual lifting activities. *Occupational Ergonomics*, 2: 105-124.

GOLD, J.E., PARK, J.S., PUNNETT, L. 2006. Work routinization and implications for ergonomic exposure assessment. *Ergonomics*, 49(1): 12-27.

- GREENWOOD, P.E., NIKULIN, M.S. 1996. A guide to chi-squared testing. John Wiley & Sons Inc, New York.
- GRIECO, A., OCCHIPINTI, E., COLOMBINI, D., MOLTENI, G. 1997. Manual handling of loads: the point of view of experts involved in the application of EC Directive 90/269. *Ergonomics*, 40(10): 1035-1056.
- HALL, S.J. 1985. Effect of attempted lifting speed on forces and torque exerted on the lumbar spine. *Medicine and Science in Sports and Exercise*, 17(4): 440-444.
- HAN, B., STOBBE, T.J., HOBBS, GR. 2005. The effect of asymmetry on psychophysical lifting capacity for three lifting types. *Ergonomics*, 48(4): 364-379.
- HANSSON, G.A., BALOGH, I., BYSTROM, J.U., OHLSSON, K., NORDANDER, C., ASTERLAND, P., SJOLANDER, S., RYLANDER, L., WINKEL, J., SKERFVING, S. 2001. Questionnaire versus direct technical measurements in assessing postures and movements of the head, upper back, arms and hands. *Scand J Work Environ Health*, 27: 30-40.
- HIGNETT, S., MCATAMNEY, L. 2000. Rapid entire body assessment (REBA). *Appl. Ergon*, 31(2): 201-205.
- HODDER, J.N., MACKINNON, S.N., RALHAN, A., KEIR, P.J., 2010. Effects of training and experience on patient transfer biomechanics. *International Journal of Industrial Ergonomics*, 40: 282-288.
- HONSA, K., VENNETILLI, M., MOTT, N., SILVERA, D., NIECHWIEJ, E., WAGAR, S. 1998. The efficacy of the NIOSH (1991) hand-to-container coupling factor. In *Proceedings of the 30th Annual Conference of the Human Factors Association of Canada*, 253-258.
- HOOZEMANS, M.J., VAN DER BEEK, A.J., FRING-DRESEN, M.H., VAN DER WOUDE, L.H., VAN DIJK, F.J. 2002. Low-back and shoulder complaints among workers with pushing and pulling tasks. *Scandinavian Journal of Work and Environmental Health*, 28(5): 293-303.
- HOOZEMANS, M.J., KINGMA, I., DE VRIES, W.H., VAN DIEEN, J.H. 2008. Effect of lifting height and load mass on low back loading. *Ergonomics*, 51(7): 1053-1063.

HSE (Health and Safety Executive). 2004. Manual handling. Manual Handling Operations Regulations 1992 (as amended). Guidance on Regulations L23 (3<sup>a</sup> ed.). HSE Books 2004. London. ISBN 978 0 7176 2823 0.

IHAKA, R., GENTLEMAN, R. 1996. R: A language for data analysis and graphics. Journal of Computational and Graphical Statistics, 5(3): 299-314.

ILO (International Labour Organization). 1967a. Maximum Weight Convention (Nº 127). Geneva: ILO. <<http://www.ilo.org/ilolex/cgi-lex/convde.pl?R128>> [Consulta: 15 jul. 2011].

ILO (International Labour Organization). 1967b. Maximum Weight Recommendation (Nº 128). Geneva: ILO. <<http://www.ilo.org/ilolex/cgi-lex/convde.pl?C127>> [Consulta: 15 jul. 2011].

ILO (International Labour Organization). 1988. Maximum Weights in Load Lifting and Carrying. Occupational Safety and Health Series 59, 48 pp. ISBN 92-2-106271-6. <[http://www.ilo.org/public/libdoc/ilo/1988/88B09\\_19\\_engl.pdf](http://www.ilo.org/public/libdoc/ilo/1988/88B09_19_engl.pdf)> [Consulta: 15 jul. 2011].

ILO-CIS (International Occupational Safety and Health Information Centre). 1962. Manual lifting and carrying. Information Sheet No.3, Geneva.

ILOLEX. 2011. Ratifications of Convention No. C127. <<http://www.ilo.org/ilolex/cgi-lex/ratifice.pl?C127>> [Consulta: 15 jul. 2011].

INSHT. 2007. VI Encuesta Nacional de Condiciones de Trabajo (ENCT 2007). Ministerio de Empleo y Seguridad Social. <<http://encuestasnacionales.oect.es/enge/EngeAnalisis.jsp>> [Consulta: 23 abr. 2012].

INSHT. 2009. Encuesta Nacional de Gestión de la Seguridad y Salud en las Empresas (ENGE 2009). Ministerio de Empleo y Seguridad Social. <<http://encuestasnacionales.oect.es/enge/EngeAnalisis.jsp>> [Consulta: 23 abr. 2012].

ISO. 2000. ISO 11226. Ergonomics – Evaluation of static working postures.

ISO. 2003. ISO 11228-1. Ergonomics - Manual handling - Lifting and carrying.

ISO. 2007a. ISO 11228-2. Ergonomics - Manual handling - Pushing and pulling.

ISO. 2007b. ISO 11228-3. Ergonomics - Manual handling - Handling of low loads

at high frequency.

ISO. 2012a. ISO/DTR 12296. Ergonomics -- Manual handling by people in the healthcare sector.

ISO. 2012b. ISO/NP 12295. Ergonomics -- Application document for ISO standards on manual handling (ISO 11228-1, ISO 11228-2 and ISO 11228-3) and working postures (ISO 11226).

JÄGER, M., LUTTMANN, A. 1999. Critical survey on the biomechanical criterion in the NIOSH method for the design and evaluation of manual lifting tasks. *International Journal of Industrial Ergonomics*, 23(4): 331-337.

KEIR, P.J., MACDONELL, C.W. 2004. Muscle activity during patient transfers: a preliminary study on the influence of lift assists and experience. *Ergonomics*, 47: 296-306.

KILBOM, A. 1994. Assessment of physical exposure in relation to work-related musculoskeletal disorders - What information can be obtained from systematic observations?. *Scand J Work Environ Health*, 20: 30-45.

KINGMA, I., VAN DIEEN, J.H. 2004. Lifting over an obstacle: Effects of one-handed lifting and hand support on trunk kinematics and low back loading. *Journal of Biomechanics*, 37(2): 249-255.

KUMAR, S. 1990. Cumulative load as a risk factor for back pain. *Spine*, 15(12): 1311-1316.

KUORINKA, I., LORTIE, M., GAUTREAU, M. 1994. Manual handling in warehouses: the illusion of correct working postures. *Ergonomics*, 37: 655-661.

LAVENDER, S.A., LI, Y.C., ANDERSSON, G.B.J., NATARAJAN, R.N. 1999. The effects of lifting speed on the peak external forward bending, lateral bending, and twisting spine moments. *Ergonomics*, 42(1): 111-125.

LAVENDER, S.A., ANDERSSON, G.B.J., SCHIPPLEIN, O., FUERNTER, H. 2003. The effects of initial lifting height, load magnitude, and lifting speed on the peak dynamic L5/S1 moments Original Research Article. *International Journal of Industrial Ergonomics*, 31(1): 51-59.

LAVENDER, S.A., LI, Y.C., NATARAJAN, R.N., ANDERSSON, G.B.J. 2009. Does

the asymmetry multiplier in the 1991 NIOSH lifting equation adequately control the biomechanical loading of the spine. *Ergonomics*, 52(1): 71-79.

LECLERC, A. 2005. Exposure assessment in ergonomic epidemiology: is there something specific to the assessment of biomechanical exposures?. *Occup Environ Med*, 62: 143-144.

LI, G., BUCKLE, P. 1999. Current techniques for assessing physical exposure to work-related musculoskeletal risks, with emphasis on posture-based methods. *Ergonomics*, 42: 674-695.

LIBERTY MUTUAL. 2004. Manual Materials Handling Guidelines.  
<[http://libertymmhtables.libertymutual.com/CM\\_LMTablesWeb/pdf/LibertyMutualTables.pdf](http://libertymmhtables.libertymutual.com/CM_LMTablesWeb/pdf/LibertyMutualTables.pdf)> [Consulta: 15 jul. 2011].

LIN, C.J., BERNARD, T.M., AYOUB, M.M. 1999. A biomechanical evaluation of lifting speed using work- and moment-related measures. *Ergonomics*, 49(8): 1051-1059.

LINDBECK, L., ARBORELIUS, U.P. 1991. Inertial effects from single body segments in dynamic analysis of lifting. *Ergonomics*, 34(4): 421-433.

LIU, Y., ZHANG, Z., CHAFFIN, D. 1997. Perception and visualization of human information for computer-aided ergonomic analysis. *Ergonomics*, 40: 818-833.

LOECKX, J., EHRICH, H.D., WOLF, M. 1996. Specification on Abstract Data Types. Wiley-Teubner.

LOWE, B.D., KRIEG, E.F. 2009. Relationships between observational estimates and physical measurements of upper limb activity. *Ergonomics*, 52(5):569-83.

LU, M-L., WATERS, T.R., WERREN, D., PIACITELLI, L. 2011. Human posture simulation to assess cumulative spinal load due to manual lifting. Part II: accuracy and precision. *Theoretical Issues in Ergonomics Science*, 12(2): 189-203.

MAITI, R., BAGCHI, T. P. 2006. Effect of different multipliers and their interactions during manual lifting operations. *International Journal of Industrial Ergonomics*, 36(11): 991-1004.

MARRAS, W.S., LAVENDER, S.A., LEUGANS, S.E., RAJULU, S.L., ALLREAD, W.G., FATHALLAH, F.A., FERGUSON, S.A. 1993. The role of dynamic three-di-

mensional trunk motion in occupationally related low back disorders: the effects of workplace factors, trunk position, and trunk motion characteristics on risk of injury. *Spine*, 18: 617-628.

MARRAS, W.S., DAVIS, K.G. 1998. Spine loading during asymmetric lifting using one versus two hands. *Ergonomics*, 41(6): 817-834.

MARRAS, W.S., DAVIS, K.G., KIRKING, B.C., GRANATA, K.P. 1999. Spine loading and trunk kinematics during team lifting. *Ergonomics*, 42: 1258-1273.

MARRAS, W.S., FINE, L.J., FERGUSON, S.A., WATERS, T.R. 1999. The effectiveness of commonly used lifting assessment methods to identify industrial jobs associated with elevated risk of low-back disorders. *Ergonomics*, 42(1): 229-245.

MARRAS, W.S. 2005. The future of research in understanding and controlling work-related low back disorders. *Ergonomics*, 48(5): 464-477.

MARRAS, W.S., PARAKKAT, J., CHANY, A.M., YANG, G., BURR, D., LAVENDER, S.A. 2006. Spine loading as a function of lifting frequency, exposure duration, and work experience. *Clinical Biomechanics*, 21: 345-352.

MCATEMNEY, L., CORLETT, E.N. 1993. RULA: A survey method for the investigation of work-related upper limb disorders. *Applied Ergonomics*, 24(2): 91-99.

MCCULLAGH, P., NELDER, J.A.. 1989. Generalized linear models (2<sup>a</sup> ed.). Chapman & Hall/CRC. London.

MESS (Ministerio de Empleo y Seguridad Social). 2011. Estadística de accidentes de trabajo. Año 2010. < <http://www.empleo.gob.es/estadisticas/eat/eat10/>> [Consulta: 23 abr. 2012].

MITAL, A., MANIVASAGAN, I. 1983. Maximum acceptable weight of lift as a function of material density, center of gravity location, hand preference, and frequency. *Human Factors*, 25: 33-42.

MITAL, A., 1987. Patterns of differences between the maximum weights of lift acceptable to experienced and inexperienced materials handlers. *Ergonomics*, 30, 1137-1147.

MITAL, A., NICHOLSON, A.S., AYOUB, M.M. 1993. A guide to Manual Materials Handling. Taylor & Francis. London, Washington, DC.

MITAL, A., RAMAKRISHNAN, A. 1999. A comparison of literature-based design recommendations and experimental capability data for a complex manual materials handling activity. *International Journal of Industrial Ergonomics*, 24(1):73-80.

MONNINGTON, S.C, PINDER, A.D.J., QUARRIE, C. 2002. Development of an inspection tool for manual handling risk assessment. HSL/2002/30 Crown copyright. Sheffield. <[http://www.hse.gov.uk/research/hsl\\_pdf/2002/hsl02-30.pdf](http://www.hse.gov.uk/research/hsl_pdf/2002/hsl02-30.pdf)> [Consulta: 13 jul. 2011].

MOORE, J.S., GARG, A. 1995. The strain index: A proposed method to analyze jobs for risk of distal upper extremity disorders. *American Industrial Hygiene Association Journal*, 56: 443-458.

MYERS, R.H., MONTGOMERY, D.C., VINING, G.G., ROBINSON, T.J. 2010. *Generalized linear models: with applications in engineering and the sciences* (2<sup>a</sup> ed.). John Wiley & Sons Inc. New York.

NATIONAL TECHNICAL INFORMATION SERVICE. 1991. Scientific Support Documentation for the Revised 1991 NIOSH Lifting Equation. PB91-226274, Springfield, Virginia.

NIOSH. 1981. Work practices guide for manual lifting. NIOSH technical report. Publication n° 81-122. US Department of Health and Human Services.

NORMAN, R., WELLS, R., NEUMANN, P., FRANK, J., SHANNON, H., KERR, M. 1998. A comparison of peak vs cumulative physical work exposure risk factors for the reporting of low back pain in the automotive industry. *Clin. Biomech*, 13(8): 561-573.

OLIVEIRA, A.B., SILVA, L.C.C.B., PALINKAS, E.S.L., PADULA, R.S., COURRY, H.J.C.G. 2012. How is a box handled when all surfaces can be freely held?. *Ergonomics*, 55(1): 78-86.

PAQUET, V., PUNNETT, L., WOSKIE, S., BUCHHOLZ, B. 2005. Reliable exposure assessment strategies for physical ergonomics stressors in construction and other nonroutinized work. *Ergonomics*, 48(9): 1200-1219.

PARAKKAT, J., YANG, G., CHANY, A.M., BURR, D., MARRAS, W.S. 2007. The influence of lift frequency, lift duration and work experience on discomfort reporting. *Ergonomics*, 50: 396-409.



- PLAMONDON, A., DENIS, D., DELISLE, A., LARIVIERE, C., SALAZAR, E., IRSST MMH research group. 2010. Biomechanical differences between expert and novice workers in a manual material handling task. *Ergonomics*, 53(10): 1239-1253.
- PLAMONDON, A., LARIVIERE, C., DELISLE, A., DENIS, D., GAGANON, D. 2012. Relative importance of expertise, lifting height and weight lifted on posture and lumbar external loading during a transfer task in manual material handling. *Ergonomics*, 55(1): 87-102.
- POPE, D., SILMAN, A., CHERRY, N., PRITCHARD, C., MACFARLANE, G. 1998. Validity of a self completed questionnaire measuring the physical demands of work. *Scand J Work Environ Health*, 24: 376-385.
- POTVIN, J.R., BENT, L.R. 1997. NIOSH equation horizontal distances associated with the Liberty Mutual (Snook) lifting table box widths. *Ergonomics*, 40(6): 650-655.
- PUTZ-ANDERSON, V., WATERS, T.R. 1991. Revisions in NIOSH Guide to Manual Lifting. Paper presented at National Conference entitled 'A National Strategy for Occupational Musculoskeletal Injury Prevention - Implementation Issues and Research Needs'. University of Michigan.
- RIBEIRO, M.L.L., TEIXEIRA, E.R. 2009. Proposed procedures for measuring the lifting task variables required by the Revised NIOSH Lifting Equation - a case study. *International Journal of Industrial Ergonomics*, 39(1): 15-22.
- RITZ, B.R. 1995. Humeral epicondylitis among gas- and waterworks employees. *Scand J Work Environ Health*, 21: 478-486.
- SADLER, E., GRAHAM, R., STEVENSON, J. 2011. Gender difference and lifting technique under light load conditions: a principal component analysis, *Theoretical Issues in Ergonomics Science*, DOI:10.1080/1463922X.2011.611264.
- SALEEM, J.J., KLEINER, B.M., NUSSBAUM, M.A. 2003. Empirical evaluation of training and a work analysis tool for participatory ergonomics. *International Journal of Industrial Ergonomics*, 31(6): 387-396.
- SNOOK, S.H., CIRIELLO, V.M. 1991. The design of manual handling tasks: revised tables of maximum acceptable weights and forces. *Ergonomics*, 34(9): 1197-1213.

STOCK, S.R., FERNANDES, R., DELISLE, A., VEZINA, N. 2005. Reproducibility and validity of workers' self-reports of physical work demands. *Scand J Work Environ Health* 31: 409-437.

THE WORK FOUNDATION. 2009. Fit For Work? Musculoskeletal Disorders in the European Workforce. London. <<http://www.fitforworkeurope.eu/Downloads/Website-Documents/Fit%20for%20Work%20pan-European%20report.pdf>> [Consulta: 23 abr. 2012].

TSUANG, Y.H., SCHIPPLEIN, O.D., TRAFIMOW, J.H., ANDERSSON, G.B. 1992. Influence of body segment dynamics on loads at the lumbar spine during lifting. *Ergonomics*, 35(4), 437-444.

VAN DEN HEUVEL, S.G., HEINRICH, J., JANS, M.P., VAN DER BEEK, A.J., BONGERS, P.M. 2005. The effect of physical activity in leisure time on neck and upper limb symptoms. *Prev Med*, 41:260-267.

WASHINGTON STATE DEPT. OF LABOR AND INDUSTRIES. 2008. Hazard Zone Jobs Checklist. <<http://www.lni.wa.gov/wisha/ergo/evaltools/hazardzonechecklist.pdf>> [Consulta: 15 jul. 2011].

WATERS, T.R. 1991. Strategies for assessing multi-task manual lifting jobs. Proceedings of the Human Factors Society 35th Annual Meeting, San Francisco, California.

WATERS, T.R., PUTZ-ANDERSON, V., GARG, A., FINE, L.J. 1993. Revised NIOSH equation for the design and evaluation of manual lifting tasks. *Ergonomics*, 36(7): 749-776.

WATERS, T.R., PUTZ-ANDERSON, V., GARG, A. 1994. Applications manual for the Revised NIOSH Lifting Equation. DHHS(NIOSH) Publication No. 94-110. National Institute for Occupational Safety and Health, Centers for Disease Control and Prevention.

WATERS, T.R., BARON, S.L., KEMMLERT, K. 1998. Accuracy of measurements for the revised NIOSH lifting equation. *Applied Ergonomics*, 29(6): 433-438.

WATERS T.R., PUTZ-ANDERSON, V., BARON, S.L. 1998. Methods for assessing the physical demands of manual lifting: a review and case study from warehousing. *American Industrial Hygiene Journal*, 59: 871-881.

WATERS, T.R., BARON, S.L., PIACITELLI, L.A., et al. 1999. Evaluation of the revised NIOSH lifting equation. A cross-sectional epidemiologic study. *Spine*, 24(4): 386-395.

WATERS, T.R. 2006. Revised NIOSH Lifting Equation. Chapter in: *The Occupational Ergonomics Handbook: Second Edition, Fundamentals and Assessment Tools For Occupational Ergonomics*. Edited by Marras W. and Karwowski W. pp 46-1 to 46-28. CRC Press. Boca Raton, Florida.

WATERS, T.R. 2007. When is safe to manually lift a patient?. *American Journal of Nursing*, 107: 53-58.

WATERS, T.R., LU, M.L., OCCHIPINTI, E. 2007. New procedure for assessing sequential manual lifting jobs using the revised NIOSH lifting equation. *Ergonomics*, 50(11): 1761-1770.

WATERS, T.R., OCCHIPINTI, E., COLOMBINI, D., ALVAREZ-CASADO, E., HERNANDEZ, A. 2009. The Variable Lifting Index: A Tool for Assessing Manual Lifting Tasks with Highly Variable Task Characteristics. *Proceedings of the 17th Triennial Congress of the International Ergonomics Association*, Beijing, Agosto 9-14.

WATERS, T.R., LU, M.L., PIACITELLI, L.A., WERREN, D., DEDDENS, J.A. 2011a. Efficacy of the revised NIOSH lifting equation to predict risk of low back pain due to manual lifting: expanded cross-sectional analysis. *Journal of Occupational and Environmental Hygiene*, 53(9): 1061-7.

WATERS, T.R., LU, M.L., WERREN, D., PIACITELLI, L. 2011b. Human posture simulation to assess cumulative spinal load due to manual lifting. Part I: methods, *Theoretical Issues in Ergonomics Science*, 12(2): 176-188.

WOMACK, S., ARMSTRONG, T., LIKER, J. 2009. Lean job design and musculoskeletal disorder Risk: A two plant comparison. *Human factors and ergonomics in manufacturing*, 19: 279-293.

YEUNG, S.S., GENAIDY, A., KARWOWSKI, W., HUSTON, R., BELTRAN, J. 2001. Assessment of manual lifting activities using worker expertise: a comparison of two worker populations. *Asian J Ergon*, 1: 11-23.

YEUNG, S.S., GENAIDY, A., HUSTON, R., KARWOWSKI, W. 2002. An expert cognitive approach to evaluate physical effort and injury risk in manual lifting-a

brief review of a pilot study. *Human Factors in Ergonomics and Manufacturing*, 12: 227-234.

YEUNG, S.S., GENAIDY, A., DEDDENS, J., LEUNG, P. 2003. Workers' assessments of manual lifting tasks: cognitive strategies and validation with respect to objective indices and musculoskeletal symptoms. *Int Arch Occup Environ Health*, 76: 505-516.

ZUUR, A., LENO, E., SMITH, G. 2007. *Analyzing ecological data*. Springer Verlag, New York.